



# الهدى ووجيا الهندسة

ترجمة

الدكتور نزار على سبتي والدكتور لبيب خليل اسماعيل

١٩٨٣







# الهيدرولوجيا الهندسية

ترجمة

الدكتور نزار علي مكي

مدرس ورئيس قسم الهندسة المدنية  
جامعة البصرة

الدكتور لييب خليل اسماعيل

أستاذ مساعد - قسم الهندسة المدنية  
جامعة البصرة (سابقاً)

طبع على نفقة جامعة البصرة



# المحتويات

الموضوع	الصفحة
مقدمة المترجم .....	7
مقدمة الطبعة الثانية .....	9
1 - المقدمة .....	11
1.1 علوم مترابطة .....	11
2.1 الدورة الهيدرولوجية .....	12
3.1 مسح لمياه الأرض .....	14
4.1 - تطبيق علم الهيدرولوجيا في الهندسة .....	15
2 - المعلومات الميترولوجية .....	17
1.2 الطقس والمناخ .....	17
2.2 الرطوبة .....	18
3.2 الحرارة .....	22
4.2 - الاشعاع .....	24
5.2 - الرياح .....	24
6.2 التساقط .....	26
7.2 - أشكال التساقطات غير المطر .....	31
8.2 - تحديد وتفسير المعلومات .....	33

51	3 - التبخر والتسح .....
51	1.3 العوامل الجوية .....
53	2.3 التسح .....
54	3.3 طرق تخمين التبخر .....
65	4.3 التبخر من سطح الأرض باستعمال قيمة $E_0$ لبنمن .....
66	5.3 معادلة ثورنتويت للتبخر - تسح .....
69	6.3 القياسات المباشرة للتبخر بواسطة الأحواض .....
70	7.3 المقنن المائي .....
77	4 - الرش .....
77	1.4 سعة الارتشاح للتربة .....
78	2.4 العوامل المؤثرة على $E_r$ .....
81	3.4 - طرق إيجاد سعة الارتشاح .....
86	4.4 - تأثير رطوبة التربة .....
95	5 - الماء الأرضي .....
95	5.1 حلوث الماء الأرضي .....
96	2.5 عوامل التأثير .....
102	3.5 جريان الماء الأرضي .....
111	4.5 استخراج الماء الأرضي .....
113	5.5 الحصىلة للأبار .....
125	6 - السيج السطحي .....
125	1.6 المعضلة المنتمية .....
127	2.6 منحنيات تقدير الجريان .....
143	3.6 أمد السيج .....
147	4.6 صفات الجاية وتأثيرها على الجريان .....
154	5.6 العوامل الناحية .....
157	6.6 العلاقة بين المطر المساقط / السيج .....

159	7 - تحليل مخطط الماء (الهيدروغراف) .....
159	1.7 عناصر مخطط الماء الطبيعي .....
161	2.7 - مساهمة الجريان الأساسي في تصريف جدول .....
165	3.7 فصل الجريان الأساسي والسيح .....
169	4.7 مخطط الماء القياسي .....
172	5.7 مخطط الماء القياسي لاستخدامات مختلفة .....
177	6.7 مخطط الماء القياسي كتوزيع مئوي .....
179	7.7 اشتقاق مخطط ماء قياسي .....
180	8.7 - مخطط الماء القياسي من عواصف معقدة او ذات فترة متعددة .....
189	9.7 المخطط الماء القياسي التوي .....
191	10.7 مخطط الماء المصطنع .....
199	8 - استتباع الفيضان .....
199	1.8 تمهيد .....
200	2.8 معادلة الخزن .....
202	3.8 استتباع الخزان .....
208	4.8 الاستتباع في مجرى النهر .....
218	5.8 الاستتباع بطريقة الرسم البياني .....
221	6.8 مخططات الماء القياسية الاصطناعية من استتباع الفيضان .....
231	9 - التنبؤ الهيدرولوجي .....
231	1.9 المقدمة .....
232	2.9 صيغ الفيضان .....
234	3.9 تحليل التكرار .....
246	4.9 جيل المعلومات المصطنعة .....
247	5.9 بيانات المطر ومخطط الماء القياسي .....
250	6.9 علم الأنواء الجوية - المائية .....
253	7.9 - الطبيعة الدورية للظاهرة الهيدرولوجية .....

الموضوع	الصفحة
تمارين	255
المراجع والمصادر	277
معجم المصطلحات	285



## مقدمة المترجم

بدأت حركة الترجمة في العصر الأموي بصورة محدودة، وخاصة في العلوم العلمية كالطب والكيمياء. وأول من قام بالترجمة هو خالد بن زيد المتوفي سنة ٨٥هـ. وقد ازدهرت الترجمة في العصر العباسي الأول ازدهاراً عظيماً، وقد شجع الخلفاء العباسيون الأولون حركة الترجمة.

ترجم العرب بأسلوبين أحدهما الأسلوب الحرفي وذلك بترجمة كل كلمة، والأسلوب الثاني هو أن يفهموا معنى الجملة فيكتبوها بالعربية.

إن عمل أولئك المترجمين لم يقتصر على نقل النصوص الفلسفية والعملية من لغة إلى لغة فقط، وإنما أوجدوا مصطلحات فلسفية وعلمية عديدة عن طريق التعريب أو الاشتقاق وتخصيص الألفاظ العربية العامة للمعاني الفلسفية والعلمية المحددة.

وقد أولت قيادة الحزب والثورة اهتماماً بالغة بحركة التعريب خاصة تعريب العلوم الهندسية والصرفة والطبية. وشجعت كافة اساتذة الجامعات والمهتمين بحركة التعريب ووفرت لهم كافة الامكانيات والمستلزمات لانجاح هذه الحركة العلمية لما فيها من مبررات إيجابية لاستيعاب التقدم العلمي والتقني الذي يشهده القطر.

وقد قمنا بترجمة هذا الكتاب ليكون مرجعاً مفيداً لطلاب كليات الهندسة والعاملين في حق الهيدرولوجيا والري.

وأخيراً فإننا نشكر الزميل الدكتور حميد رشيدوفيق رئيس قسم هندسة الري واليزل في جامعة الموصل، الذي ساهم في تحسين الكتاب بعد مراجعة مسوداته وتقديم اقتراحاته البناءة، وكذلك نشكر الدكتور زهير غازي زاهد المدرس في كلية الآداب - جامعة البصرة، لمراجعة الكتاب لغوياً. وإبداء ملاحظاته القيمة. وإلى جميع الذين ساهموا في إعداد مسودات الكتاب.

الدكتور فزار علي مبركي



## مقدمة الطبعة الثانية

كتب هذا الكتاب لطلبة كلية الهندسة والمهندسين الساعدين والذين يتعلمون الهيدرولوجي لأول مرة.

ولقد صمم الكتاب ليقدم الى القارئ المبادئ الأولية للموضوع وكذلك النظريات الأساسية، ليسين كيف تعدل في الحياة العملية، وليشرح الطرق التقنية التي تعطي أجوبة للحالات العملية.

إن أكثر الكتب التي لها نفس الطبيعة هي أميركية في الأصل ولها اتجاه في ان يكون أساسها على معلومات وتطبيقات اميركا الشمالية بشكل مركز على وجه الحصر ما زال هذا الكتاب يعتمد على التطورات الأميركية في الهيدرولوجي لكن يستعمل بشكل حر المعلومات والمصادر البريطانية والأوربية.

نقحت هذه الطبعة وكبرت لتهيئ معلومات متوفرة عن الأمطار في بريطانيا والعلاقات بين الشدة - الأمد - التكرار في الحياة العملية. وأدمجت الأعمال الأخيرة في بريطانيا على الاستهلاك المائي، وتم توزيع جزء اخذ قياسات المجرى وقياسات الجريان. وأتيحت الفرصة لتحسين وإضافة المصادر الجديدة، لاستعمال الوحدات العالمية (SI) بشكل منظم على طول (لكن ليس بشكل كامل) ولتصليح عدة أخطاء في الطبعة الأولى. وفي هذا الخصوص، اشكر جميع المراسلين من جميع انحاء العالم.

لتحسين هذا الكتاب، عندما يستعمل ككتاب منهجي للدراسات الأولية؛ أعطيت مختارات من نمازين ومساائل في نهاية الكتاب، لإتاحة الفرصة للقارئ في استعمال التقنيات المشروحة في الكتاب.

يجب أن أسجل تقديري الى النصائح والمساعدة التي استلمتها من جميع الأشخاص خلال إعداد الكتاب.

**E.M. Wilson**

مانجستر ١٩٧٤



## المقدمة

إن الهيدرولوجيا هو علم يبحث في ظهور المياه وحركتها على سطح الأرض، ويبحث كذلك في مختلف أشكال الرطوبة التي قد تحدث وتحولاتها بين الحالات السائلة والصلبة والغازية في الجو، وفي الطبقات السطحية من الأرض، ويتم كذلك بالبحار: المصدر والمخزن لكل المياه النشطة للحياة على هذا الكوكب.

## 1.1 علوم ترابطة:

يتم المهتمس عادة بتصميم وإدارة الأعمال الهندسية للسيطرة على استعمال المياه، وخاصة تنظيم الجداول والأنهار وتكوين الخزانات وقنوات الري. ومع ذلك يجب عليه أن يكون ملماً في مجالات أوسع حين التطبيق لعلم الهيدرولوجيا.

حيث أن جزءاً كبيراً من موضوع الهيدرولوجيا مشتق من علوم الفيزياء والأنواء الجوية (Meteorology)، علم المحيطات والجغرافيا والجيولوجيا والهيدروليك وعلوم أخرى غيرها. وعليه كذلك أن يكون له بعض الإلمام في العلوم الزراعية والغابات وعلم النبات والأحياء، كذلك يجب أن يكون متفهماً لنظرية الاحتمالات (Probability Theory) وبعض طرق الإحصاء وقادراً على استعمال التحليلات الاقتصادية.

إن الهيدرولوجيا هو علم تفسيري وأن الأعمال التجريبية (الحقلية) مفيدة من حيث سعة الأحداث الطبيعية بالنسبة الى حجم الباحثين المتواضع في الواقع الحقيقي. إن المتطلبات الأساسية للهيدرولوجيا هي ملاحظة وقياس المعلومات المتعلقة بجميع مظاهر السقيط (Precipitation) والمياه الجارية السطحية (Run-off) والنفاذية (Percolation) وجريان الأنهار (River Flow) والتبخر (Evaporation) وغيرها.

وبواسطة هذه المعلومات، وإللام بسيط في حقول المعرفة المجاورة فإن الهيدرولوجي (Hydrologist) الماهر يستطيع ان يجد أفضل الحلول للمشاكل الهندسية التي تواجهه.

## 2.1 الدورة الهيدرولوجية: (Hydrological Cycle)

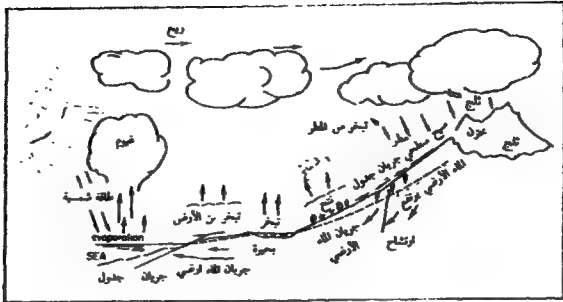
إن حركة المياه الدورية من البحر وإلى الجوف ومن ثم بواسطة التساقط إلى الأرض حيث تتجمع في الجداول والأنهار لتجري عائدة إلى البحر تعرف بالدورة الهيدرولوجية. ونظام هذه الدورة يحدث طبيعياً ولكنه ليس بسيطاً كما يبدو. فاولاً إن الدورة قد تكون قصيرة في بعض المراحل، مثال على ذلك حدوث التساقط مباشرة على البحار أو البحيرات والأنهار، وثانياً لا تأخذ هذه الدورة وقتاً متظلاً لها، إذ قد تبدو الدورة وقت الجفاف كما لو أنها قد توقفت وأثناء الفيضان تبدو كأنها مستمرة.

ثالثاً - إن شدة وتعدد الدورة الهيدرولوجية تعتمد على طبيعة الأرض وعلى المناخ حيث أن الدورة تكون نتيجة الاشعاعات الشمسية والتي تتغير وفقاً لخطوط العرض وفصول السنة.

رابعاً وأخيراً - إن الأجزاء والأقسام المختلفة من الدورة تكون معقدة جداً ولا يستطيع الانسان السيطرة إلا على الجزء الأخير منها عندما تكون الأمطار قد سقطت على الأرض وتشق طريقها عائدة الى البحر.

بالرغم من أن مفهوم الدورة الهيدرولوجية قد بسط كثيراً لكنه اعطى توصيحاً شاملاً الى واحدة من اهم القضايا التي يجب على الهيدرولوجي ادراكها. إن هذه الدورة موضحة بصورة تخطيطية في شكل رقم (1.1).

يتبخر الماء من البحر تحت تأثير الاشعاع الشمسي وتتحرك فيوم بخار الماء فوق



الشكل (1.1)  
الدورة الهيدرولوجية

مساحات اليابسة ويحدث التساقط على شكل ثلج وبرد ومطر ومن ثم يبدأ الماء بالرجوع إلى البحر.

إن بعض الماء يترشح إلى داخل التربة ويسير إلى الأسفل أو يتغلغل إلى الطبقة المشبعة (Saturated Zone) تحت مستوى الماء الأرضي (Water Table) ويمرر الماء ببطء في هذه الطبقة الحاملة للمياه (Aquifer) إلى الأنهار والجداول، وبعض الأحيان إلى البحر.

إن الماء المرتشح يقوم بتغذية النباتات الحية حيث يرتفع الماء بداخل المزروعات ويلفظ إلى الجو بطريقة عملية التبع (Transpiration) من سطوح أوراق النباتات.

إن قسماً من المياه المتبقية على سطح التربة يعود إلى الجو بطريق التبخر والقسم الأعظم منه يلتحم بمداخل الجداول ومن ثم يمرر سطحياً إلى مجاري الأنهار. ويتبخر قسم من المياه من سطوح الأنهار والبحيرات، أما القسم المتبقي فيرجع إلى البحار بواسطة الأنهار.

إن المياه الباطنية - الأرضية (Ground Water) تجري بصورة بطيئة جداً، وهي إما أن تلتحم بالجداول والأنهار، أو تصل إلى سواحل البحار وتسرب (Seep) إليها. وهكذا تعاد الدورة مرة أخرى.

### 3.1 مسح لمياه الأرض:

من اللازم أخذ فكرة عامة عن الحوادث التي نوقشت وفسرت في السابق.

يبين الجدول التالي كميات تخمينية للمياه المتضمنة في الدورة الهيدرولوجية وكذلك النسبة المئوية في كل جزء من أجزاء الدورة الهيدرولوجية نسبة إلى المجموع الكلي للمياه على سطح الأرض.

جدول (1.1)  
مسح تقريبي لمياه الأرض

النسبة المئوية من الكمية الكلية	الحجم 1000 كيلو متر مكعب	الموقع
0.62	125	مياه عذبة في البحيرات
	1.25	الأنهار
	65	الرطوبة في التربة
	8250	المياه الأرضية
0.008	105	البحيرات المالحة والبحار الداخلية
0.001	13	الجو
2.1	29.200	الجليد القطبي
97.25	1320.000	التلوجات والتلوج البحار والمحيطات
100	1368.000	المجموع

إن حوالي نصف كمية المياه العذبة المتوفرة في الكرة الأرضية (0.6% من الكمية الكلية للمياه) موجودة على عمق أكثر من 800 متر تحت سطح الأرض وهذا يعني أنها غير متوفرة من الناحية العملية على السطح. أي أن مخزون الماء العذب الكلي في الأرض والمتوفر بوسيلة أو أخرى للاستعمالات البشرية يبلغ حوالي 4 ملايين كيلو متر



مكعب، ومعظم هذا الماء التوفر موجود تحت سطح الأرض. ولو وزع هذا الماء بالتساوي على سطح الأرض لكان ارتفاع الماء حوالي 30 متر.

إن العمليات الأربع التي يتعامل معها الهيدرولوجي بصورة رئيسية هي التساقط والتبخر والتجذع والجريان السطحي (Surface Runoff) وجريان الجداول (Stream Flow) وكذلك حركة المياه الجوفية (Ground Water Flow)، وعلى الهيدرولوجي أن يكون قادراً على ترجمة المعلومات المتوفرة في هذه العمليات الأربع والتكهن منها في معرفة القضايا المتطرفة والمتعلقة بالفيضان والجفاف، وأن يعطي رأياً صائباً في تردد حدث معين أو حدث مطرف بقيمة معينة إلى مهندس الهيدروليك لفرض بناء التصاميم المطلوبة.

#### 4.1 تطبيق علم الهيدرولوجيا في الهندسة:

إن علم الهيدرولوجي هو الأداة الأساسية للمهندس الممارس والمهتم بتخطيط وبناء المنشآت المائية. فعلى سبيل المثال، لو أردنا زيادة سعة أو تحسين إسالة ماء مدينة ما فعل المهندس أن يبحث أولاً عن مصدر التكوين، ولو فرضنا بأن المهندس قد وجد هذا المصدر وكان مستجمع أمطار (Catchment area) جبلي غير متفتح فيجب عليه تقدير كمية الماء التي يمكن تجهيزها، وما هي كمية مياه الأمطار التي تسقط على هذا المستجمع؟ ما هي فترة الجفاف وما مقدار كمية الخزن الضرورية لضمان استمرار الجريان والاستهلاك؟ ما هي كمية المياه المفقودة بواسطة التبخر والتجذع من المياه الجارية وهل أن الخزن السطحي أفضل طريقة لتوفير المياه أم من الأحسن أخذ المياه الجوفية من آبار قرية من المدينة؟

إن هذه الأسئلة لا تقف عند هذا الحد إذا ما أردنا أن نبني سدّاً فما هي سعة تصريف المسيل (Spillway)؟ وما مقدار قطر أنبوب التجهيز وهل أن تشجير المستجمع فائدة ما على المشروع أم لا؟

إن الهيدرولوجي يستطيع أن يجهز أجوبة على هذه الأسئلة المطروحة والتي ستظهر في المستقبل وتكون أجوبته هذه محدودة وقطعية وفي بعض الأحيان يعطي قياً احتمالية والتي قد تسبب انحرافات بعد فترة من الزمن، وهذا بسبب أن علم الهيدرولوجيا من العلوم غير الدقيقة.

فلو أراد أحد المقاولين إنشاء سدّاد وقّية على نهر ماء، فإن الهيدرولوجي هو الذي يقرر ارتفاع هذه السدّاد وأن الارتفاع هذا قد يفرق مرة فقط بالمعدل كل 100 سنة، فإذا كان هذا المنشأ الموقت سيعمل فقط لمدة ستين فالمقاول سيقرر على أكثر بأنها مغامرة عدلة ولكنها فعلاً مغامرة فربما في إحدى هاتين الستين يصل الفيضان الى معدل مرة كل 100 سنة ولا يمكن أن يتكهن علم الهيدرولوجي بذلك إطلاقاً.

في مجال العلوم الهندسية الواسعة حيث تزايد وتتعاظم أهميتها باطراد يكون تنمية وتطوير مصادر المياه لحوض نهر ما أو لمنطقة جغرافية معينة في المجال الأول، وفي هذه الظروف يتزايد أهمية الهيدرولوجي حيث أن خبرته ووجهة نظره تكون لها أهمية خاصة لا في الانشاءات الهندسية التي تتعلق بإسالة الماء فقط، بل في أنواع ومجالات الاستثمارات الزراعية وكذلك الصناعة وعدد السكان الذين في المستطاع اعالتهم وكذلك مجالات النقل النهري وتطوير الموانئ وحفظ البيئة والصحة العامة.

إن المدينة تعتمد أساساً على إسالة الماء وهناك نزعة شائعة الآن في زيادة حجم المدن وتكثيف وزيادة الصناعة، وهذا مما سيزيد من أهمية دور الهيدرولوجي لمواجهة احتياجات الأعداد الكبيرة من السكان لماء الشرب والري والصناعة وتوليد الطاقة.

## المعلومات الجوية Meteorological Data

### 1.2 الطقس والمناخ: (Weather and climate)

إن هايدرولوجية أي منطقة تعتمد أولاً على مناخها، وثانياً على تضاريسها (Topography) وجيولوجيتها، ويعتمد المناخ بصورة كبيرة على الموقع الجغرافي على سطح الكرة الأرضية. إن العوامل المناخية المهمة بالنسبة للهايدرولوجي هي السقوط وأسلوب حدوثها وكذلك الرطوبة والرياح والحرارة، حيث إن هذه العوامل تؤثر تأثيراً مباشراً على لتبخّر والتّح.

وتكمن أهمية التضاريس في تأثيرها على السقوط وتكوين البرك والبحيرات والمستنقعات وكذلك على كمية المياه الجارية السطحية (Runoff). إن جيولوجية المنطقة مهمة لتأثيرها على التضاريس الأرضية حيث أن المياه المرشحة (Infiltrated) تتحرك ببطء خلال الطبقات الحاملة للمياه (Aquifer) إلى الأنهر أو إلى البحر.

إن طبيعة حركة الهواء في الجو معقدة للغاية. فإذا ما فرضنا بأن الأرض ثابتة ومنظمة الكروية ففي هذه الحالة تكون هناك حركة (دوران) بسيطة للجو في تلك الجهة من الأرض المواجهة للشمس، حيث أن الهواء الدافئ سيرتفع عند خط

الاستواء ويتحرك باتجاه الشمال أو الجنوب على ارتفاعات عالية بينما يتحرك الهواء البارد للداخل على سطح الأرض ليحل محل الهواء الدافئ. إن الهواء الدافئ في الأعالي يبرد تدريجياً وينخفض خلال حركته وابتعاده عن خط الاستواء حتى يرجع إلى الطبقات السطحية الملاصقة لسطح الأرض، ومن ثم يعود إلى خط الاستواء. أما الجهة الثانية للأرض المنزلة عن الشمس فتكون متظلمة البرودة والظلام.

إن دوران الأرض حول محورها يفصل طبيعة الحركة البسيطة للهواء هذه، حيث إن هذا الدوران يجعل سطح الأرض يتعرض للحرارة أو البرودة كل اثنتي عشرة ساعة وتتبع عن هذا الدوران كذلك قوة كوريوليس (Coriolis Force) المؤثرة في التيارات الهوائية المتحركة نحو خط الاستواء والمتباعدة عنه. وكذلك تضطرب حركة الهواء بسبب انحراف محور الأرض بالنسبة إلى مستوى دوران الأرض حول الشمس، إذ يعطي هذا الانحراف التغيرات الفصلية.

وهناك تأثيرات أخرى بسبب تغير الانعكاسية (Reflectivity) والحرارة النوعية لسطوح الماء واليابسة. ونتيجة لهذه الظروف على التناوب جعلته معقداً للغاية ومن الصعب التنبؤ بما يحدث في فترة قصيرة من الزمن. نتيجة للملاحظات والقياسات لفترة طويلة من الزمن بالإمكان التنبؤ لفترة طويلة قد تكون مبنية على المعلومات والقواعد الاحصائية.

تستلزم دراسة المايكروكولوجيا جمع المعلومات والقياسات حول الرطوبة والحرارة والسقيط والإشعاع الشمس وسرعة الرياح، وهذا ما سيشرح مفصلاً في هذا الفصل من الكتاب.

## 2.2 الرطوبة: (Humidity)

يمتص الهواء بسهولة الرطوبة على شكل بخار ماء وتعتمد الكمية الممتصة من الرطوبة على درجة حرارة الهواء والماء. فكلما زادت درجة الحرارة زادت كمية بخار الماء الذي يستطيع الهواء استيعابها. إن بخار الماء يسلط ضغطاً جزئياً ويقاس هذا الضغط إما بواسطة البار (Bar) (البار الواحد =  $10^5$  نيوتن/متر مربع والملي بار (Millibar) يساوي  $1/1000$  من البار ويساوي 100 نيوتن / المتر المربع). أو بارتفاع عمود من الزئبق بالملمترات (1 ملم من الزئبق = 1.36 ملي بار).

نفترض وجود سطح مائي للتبخير في نظام مغلق ومغلق بالهواء، فلو وجد مصدر للطاقة الحرارية لهذا النظام سيتبخّر الماء إلى الهواء إلى حين وصوله حالة تعادل، حيث يكون الهواء مشبعاً ببخار الماء. إن جزيئات بخار الماء تسلط في هذه الحالة ضغطاً يدهى بضغط البخار المشبع (e).

إن قيمة ضغط البخار المشبع (e) تتغير مع تغير درجات الحرارة كما هو موضح في الجدول (1.2). إن هذه القيم مرسومة كذلك في منحنى يربط بين ضغط البخار

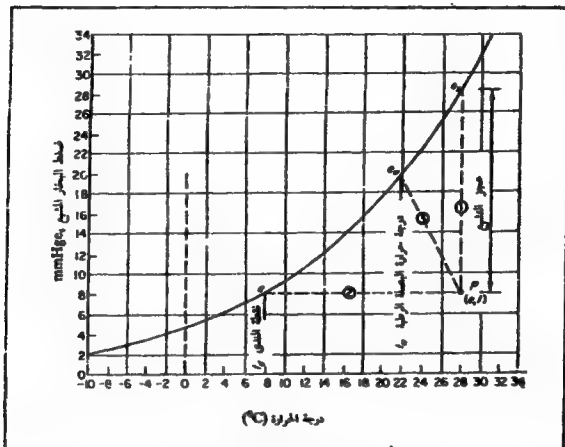
### جدول (1.2)

ضغط البخار المشبع e في mmHg (زئبق) كدالة درجة الحرارة t في °C (القيم السالبة ل. t تمرى إلى الظروف فوق الثلج)

$$1 \text{ mmHg} = 1.36 \text{ mbar}$$

t	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	t
-10	2.15										-10
-9	2.12	2.30	2.29	2.27	2.26	2.26	2.22	2.21	2.19	2.17	-9
-8	2.11	2.49	2.47	2.45	2.43	2.41	2.40	2.38	2.36	2.34	-8
-7	2.71	2.69	2.67	2.65	2.63	2.61	2.59	2.57	2.55	2.53	-7
-6	2.93	2.91	2.89	2.86	2.84	2.82	2.80	2.77	2.75	2.73	-6
-5	3.16	3.14	3.11	3.09	3.06	3.04	3.01	2.99	2.97	2.95	-5
-4	3.41	3.39	3.37	3.34	3.32	3.29	3.27	3.24	3.22	3.19	-4
-3	3.67	3.64	3.62	3.59	3.57	3.54	3.52	3.49	3.46	3.44	-3
-2	3.97	3.94	3.91	3.88	3.85	3.82	3.79	3.76	3.73	3.70	-2
-1	4.26	4.23	4.20	4.17	4.14	4.11	4.08	4.05	4.03	4.00	-1
0	4.58	4.55	4.52	4.49	4.46	4.43	4.40	4.36	4.33	4.29	0
0	4.58	4.62	4.65	4.69	4.71	4.75	4.78	4.82	4.86	4.89	0
1	4.92	4.96	5.00	5.03	5.07	5.11	5.14	5.18	5.21	5.25	1
2	5.29	5.33	5.37	5.40	5.44	5.48	5.53	5.57	5.60	5.64	2
3	5.68	5.72	5.76	5.80	5.84	5.89	5.93	5.97	6.01	6.06	3
4	6.10	6.14	6.18	6.23	6.27	6.31	6.36	6.40	6.45	6.49	4
5	6.54	6.58	6.64	6.68	6.72	6.77	6.82	6.86	6.91	6.96	5
6	7.01	7.06	7.11	7.16	7.20	7.25	7.31	7.36	7.41	7.46	6
7	7.51	7.56	7.61	7.67	7.72	7.77	7.82	7.88	7.93	7.98	7
8	8.04	8.10	8.15	8.21	8.26	8.32	8.37	8.43	8.48	8.54	8
9	8.61	8.67	8.73	8.78	8.84	8.90	8.96	9.02	9.08	9.14	9
10	9.20	9.26	9.33	9.39	9.46	9.52	9.58	9.65	9.71	9.77	10
11	9.84	9.90	9.97	10.03	10.10	10.17	10.24	10.31	10.38	10.45	11
12	10.52	10.58	10.66	10.72	10.79	10.86	10.93	11.00	11.08	11.15	12
13	11.23	11.30	11.38	11.45	11.53	11.60	11.68	11.76	11.83	11.91	13
14	11.98	12.06	12.14	12.22	12.26	12.36	12.46	12.54	12.62	12.70	14
15	12.78	12.86	12.93	13.03	13.11	13.20	13.28	13.37	13.45	13.54	15
16	13.63	13.71	13.80	13.89	13.99	14.08	14.17	14.26	14.35	14.44	16
17	14.53	14.62	14.71	14.80	14.90	14.99	15.09	15.17	15.27	15.36	17
18	15.46	15.56	15.66	15.76	15.86	15.96	16.06	16.16	16.26	16.36	18
19	16.46	16.57	16.68	16.79	16.90	17.00	17.10	17.21	17.32	17.43	19
20	17.53	17.64	17.75	17.86	17.97	18.08	18.20	18.31	18.43	18.54	20
21	18.65	18.77	18.88	19.00	19.11	19.23	19.35	19.46	19.58	19.70	21
22	19.82	19.94	20.06	20.19	20.31	20.43	20.56	20.69	20.80	20.93	22
23	21.05	21.19	21.32	21.45	21.58	21.71	21.84	21.97	22.10	22.23	23
24	22.27	22.50	22.63	22.76	22.91	23.05	23.19	23.31	23.45	23.60	24
25	23.75	23.90	24.03	24.20	24.35	24.49	24.64	24.79	24.94	25.08	25
26	25.31	25.45	25.60	25.74	25.89	26.03	26.18	26.32	26.46	26.60	26
27	26.74	26.90	27.05	27.21	27.37	27.53	27.69	27.85	28.00	28.16	27
28	28.32	28.49	28.66	28.83	29.00	29.17	29.34	29.51	29.68	29.85	28
29	30.03	30.20	30.38	30.56	30.74	30.92	31.10	31.28	31.46	31.64	29
30	31.82	32.00	32.19	32.38	32.57	32.76	32.95	33.14	33.33	33.52	30
t	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	t

المشبع ( $e_s$ ) ودرجة الحرارة ( $^{\circ}\text{C}$ ) في الشكل (1.2). والرجوع إلى الشكل (1.2) نلاحظ ماذا يحدث لكملة من الهواء الجوي ( $p$ ) بدرجة حرارة ( $t$ ) وضغط البخار فيها هو ( $e$ ).



الشكل (1.2)  
ضغط البخار المشبع للهواء

طلالا كانت النقطة ( $p$ ) واقعة تحت منحنى ضغط البخار المشبع، فمن الواضح أن كتلة الهواء هذه تستطيع استيعاب كمية أكثر من بخار الماء ما دامت درجة الحرارة ثابتة (غير متغيرة)، في هذه الحالة فإن موقع النقطة ( $p$ ) سيتحرك عمودياً إلى الأعلى (الخط المنقط 1-) لحين وصول الهواء إلى حالة التشبع، وسيكون ضغط البخار لكملة الهواء ( $p$ ) في موقعها الجديد مساوياً لضغط البخار المشبع ( $e_s$ )، وإن الزيادة ( $e_s - e$ ) نعرف بالتقصير في التشبع (Saturation Deficit).

أما إذا برد الهواء بدون أي تغير بطراً على رطوبته فإن النقطة ( $p$ ) ستتحرك باتجاه أقصى نحو اليسار على الخط (2) حتى يقطع خط التشبع، في هذه النقطة ستكون

كتلة الماء (p) مشبعة في درجة حرارة جديدة ( $t_d$ ) تدعى هذه الدرجة نقطة الندى (Dewpoint).

إن خفض درجة حرارة الهواء أقل من هذه الدرجة (درجة الندى) سيؤدي إلى عملية التكاثف أو تكوين السديم (Mist).

إذا سمح للماء بالتبخر بحرية في كتلة الهواء فستحدث حالة ثالثة هي غير الحالتين الواردين أعلاه وذلك لأن تبخر الماء يحتاج إلى حرارة معينة تؤخذ عادة من الهواء الملامس لسطح التبخر نفسه. إن هذه الحرارة تدعى كمية حرارة التبخر الكامنة (Latent heat of Evaporation)، ( $h_e$ ) وتستخرج بالمعادلة التالية:

$$h_e = 606.5 - 0.695t \text{ g cal/g}$$

فلهذا كلما ارتفعت الرطوبة وضغط البخار انخفضت درجة حرارة الهواء وتتحرك النقطة (p) بصورة مائلة على الخط (3) حتى تصل إلى ضغط البخار المشبع في النقطة التي تعرف بواسطة ( $e_w$ ) و ( $t_w$ ). إن هذه الدرجة ( $t_w$ ) تدعى درجة حرارة البصلة الرطبة (Wet Bulb Temperature) وهي الدرجة التي يصلها الهواء عند تبريده بواسطة تبخر الماء ونحصل عليها بواسطة الحرار ذي البصلة الرطبة.

إن الرطوبة النسبية (Relative Humidity) هي:

$$h = e/e_w$$

$$h = 100 e/e_w \% \quad (2.2)$$

ونستعمل الرطوبة النسبية كمقياس لاستيعاب الهواء في درجة حرارته الحالية لامتناس كمية أكبر من الرطوبة وتقاس بواسطة تسليط الهواء على حرارين احد هذين الحرارين تكون بصلة حادة بقطعة قماش مبللة بالحرار الثاني جاف.

إن الهواء المار سيكون له تأثير على قراءة الحرار ذي البصلة الرطبة. وإما أن تدار المحارير بواسطة سلك أو تجهز الهواء بواسطة مروحة تلقائية.

ويدعى الجهاز بجهاز قياس الرطوبة (Psychrometer) ومن الممكن الحصول على قيمة ضغط البخار في الجو ( $e$ ) للدرجة الحرارة ( $t$ ) من المعادلة التالية:

$$(e_w - e) = \gamma(t - t_w) \quad (3.2)$$

حيث:

$t_w$  = درجة الحرارة في المحرار ذي البصلة الرطبة.

$t$  = درجة الحرارة في المحرار الجاف.

$e_w$  = ضغط البخار المشبع للدرجة الحرارة ( $t_w$ ) ويستخرج من الجدول (1.2).

$\gamma$  = ثابت الجهاز ويساوي 0.66 حيث تقاس ( $e$ ) بالملي بار و ( $t$ ) بالدرجات المثوية على افتراض سرعة الهواء المار على بصلات المحرارين هي 3 متر / ثانية على الأقل (عندما تكون ( $e$ ) مقاسة بالمليمترات من الزيتق تصبح قيمة ثابت الجهاز  $\gamma=0.485$ ).

### 3.2 الحرارة: (Temperature)

تسجل درجة حرارة الهواء بواسطة محارير مثبتة في صناديق خشبية ذات فتحات مزودة بمعارض متحركة لتسهيل دخول الهواء مع حجب اشعة الشمس ومنع المطر ومرتفعة حوالي 4 أقدام عن سطح الأرض. أن حماية المحارير من الأمطار ومن اشعة الشمس المطلقة ضرورية جداً.

تستعمل محارير ذات النهايتين الصغرى والعظمى في تسجيل أكثر قياسات درجات الحرارة. فإن هذه المحارير تعطي درجات الحرارة العظمى والصغرى للفترة ما بين وضع الجهاز والقراءة.

إن التغير اليومي لدرجات الحرارة يكون أصغرها قرب شروق الشمس وأكبرها من 1/2 إلى 3 ساعات بعد وصول الشمس إلى سمت الرأس ويعدها تستمر درجات الحرارة بالانخفاض أثناء الليل وحتى شروق الشمس ثانية. وعلى هذا الأساس فإن أفضل وقت لقياس درجات الحرارة العظمى والصغرى هي في الفترة بين الثامنة والتاسعة صباحاً بعدما تكون الحرارة الصغرى قد حصلت.



#### □ المعدل اليومي للحرارة: (Mean daily temperature)

وهو متوسط (average) درجتي الحرارة العظمى والصغرى لذلك اليوم وتكون عادة في حدود درجة واحدة من المتوسط الحقيقي إذا ما سجلت درجات الحرارة بصورة مستمرة.

تقاس درجات الحرارة بدرجات (Celsius) التي يطلق عليها عادة وبصورة خاطئة بدرجات السانتيكريد (Centigrade) أما المقياس الفرهنهايتي (Fahrenheit) فلا يزال يستعمل في بريطانيا وبصورة مطلقة في شمال أمريكا.

#### □ المجال العمودي للحرارة: (Vertical temperature gradient)

إن معدل التغير في درجة حرارة الهواء بالنسبة إلى الارتفاع يدعى بمعدل المهبوط (Lapse rate). إن معدل المهبوط هو  $5.6^{\circ}\text{C}$  لكل 1000 متر زيادة في الارتفاع. إن هذا المعدل عرضة للتغير وخاصة قرب السطح حيث يكون دافئاً جداً في وقت النهار والذي يعطي معدلات هبوط عالية وإن عملية التبريد أثناء الليل تعطي معدلات هبوط واطئة. إن تبريد الأرض بواسطة الاشعاعات الخارجية في الليالي الصافية قد يسبب زيادة في حرارة الهواء (Temperature inversions) حيث يكون الهواء الدافئ فوق طبقة سطحية ملاصقة للأرض من الهواء البارد.

بازدياد الارتفاع ينخفض الضغط البارومتري وإن وحدة الكتلة من الهواء تحت حجم أكبر كلما زاد الارتفاع. إن التغير في درجة الحرارة نتيجة لهذا التخلخل هو حوالي عشر درجات مئوية لكل 1000 متر إذا كان الهواء جافاً. يدعى هذا المعدل بمعدل المهبوط ثابت الحرارة الجاف (Adiabatic). أما إذا كان الهواء رطباً فعند الارتفاع إلى أعلى ومن خلال عملية التمدد والتبريد فإن قسماً من المحتوى البخاري للهواء سيتكاثف وهذه العملية (التكاثف) ستطلق الحرارة الكامنة للتكاثف التي تمنع كتلة الهواء من التبريد كما في السرعة التي يتم بها تبريد الهواء الجاف. ولهذا سيكون معدل المهبوط ثابت الحرارة المشبع أقل ويقارب  $5.6^{\circ}\text{C}$  لكل 1000 متر في الارتفاعات الواطئة.

#### □ توزيع الحرارة: (Distribution of temperature)

على العموم، كلما قرب المكان من خط الاستواء كان أحرى. إن تأثيرات الحرارة النوعية للأرض والماء المختلفة وأشكال التيارات البحرية والجوية وفصول السنة والطوبوغرافية الأرضية والغطاء النباتي وكذلك الارتفاع كل هذه العوامل تحاول تغير هذه القاعدة العامة ويجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار.

## 4.2 الإشعاع: (Radiation)

إن أكثر محطات الأنواء الجوية مجهزة بقياس الإشعاع (Radiometer) لقياس كل من كمية الأشعة قصيرة الموجة القادمة من الشمس والجو وصافي (Nett) الإشعاع الذي هو المجموع الجبري لجميع الأشعة القادمة والأشعة المنعكسة من سطح الأرض إلى الفضاء سواء كانت قصيرة أو طويلة الموجة. إن لصافي الإشعاع أهمية كبيرة في دراسات التبخر كما سيوضح ذلك في الفصل الثالث.

## 5.2 الريح: (Wind)

تقاس سرعة الريح بواسطة المرياح (Anemometer) أما اتجاه الريح فيقاس بواسطة الدوارة (دليل اتجاه الريح) (Wind Vane). إن المرياح التقليدي هو المرياح القلحي ويتكون من ثلاثة (وبعض الأحيان من أربعة) أقدام دائرية تدور حول محور عمودي. إن سرعة دوران الأقدام تقاس سرعة الريح أما مجموع الدورات الكلي حول المحور يعطي قياس لمجرى الريح (Wind run) وهو المسافة التي يسير خلالها جزء من الهواء في وقت محدد.

بسبب تأثير الاحتكاك بين الهواء وسطح الأرض والماء الذي يهب فوق هذه السطوح فإنه من المهم أن يحدد في كل قياسات الريح، الارتفاع فوق سطح الأرض الذي أجريت فيه القياسات. وهناك علاقة تجريبية (Empirical) شائعة الاستعمال بين سرعة الريح والارتفاع.

$$u/u_0 = (z/z_0)^{0.15} \quad (4.2)$$

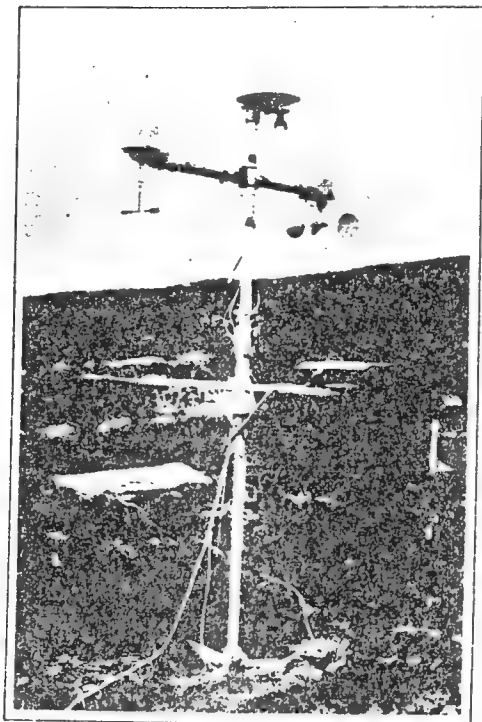
حيث أن:

$U_0$  = سرعة الريح في المرياح على ارتفاع  $(Z_0)$ .

$U$  = سرعة الريح على ارتفاع معين  $(Z)$ .

قد بذلت جهوداً كبيرة في السنوات الأخيرة لتوحيد ارتفاع المرياح والآن في أوروبا يقاس الريح عادة على ارتفاع 2 متر من فوق سطح الأرض.

يبين الشكل (2.2) جهاز منظم لعمل القياسات المناخية في فترات منتظمة



الشكل (2.2)

مصفوف للملاحظات الجوية المزراع السفلي على اليسار الشماع العالي: اليمين. عطرير جاة  
 ونبلة. المزراع العلوي على اليسار اتجاه الريح عن اليمين. سرعة الريح. في الأعلى الاشماع  
 الشمسي والسمائي. يوجد مقياس مطر مع شبكة ضد الوحل في منتصف المسافة

وقصيرة. إن الأجهزة التي تسجل الفينسات بصورة أوتوماتيكية (تلقائية) على شريط ممغنط، ويتضمن مقياس الأشعاع لقياس صفائي الأشعة والحرار ذو البصليتين الجافة والرطبة والدوارة (دليل اتجاه الرياح) والرياح وكذلك جهاز لقياس شدة أشعة الشمس الساقطة منصوب على السارية العليا.

## 6.2 السقيط: (Precipitation)

إن مصدر أكثر المياه الساقطة هو البحر. حيث تجري عملية التبخر من المحيطات ويحصر بخار الماء من قبل التيارات الهوائية المتحركة عبر البحار. إن الهواء المحمل بالرطوبة يبقى بخار الماء إلى حين هبوط درجة حرارته تحت درجة الندى إذ يترسب البخار على شكل مطر. أما إذا كانت درجة الحرارة واطئة بشكل كافٍ فيترسب على شكل ثلج أو برد. إن سبب هبوط درجة حرارة كتلة الهواء قد يكون بسبب الحمل (Convection). حيث أن الهواء الرطب الدافئ يرتفع إلى الأعلى ويرد ويتحول إلى غيوم وبالتالي يتساقط المطر، هذا النوع من المطر يسمى بالسقيط الانقلابي (Convective precip.) ويمثل بالعواصف الرعدية في السماء الناتجة عن تسخين الهواء الرطب لطول فترة النهار وارتفاعه وتحوله إلى غيوم (على شكل السدان) شائعة.

إن السقيط التضاريسي (Orographic) يتكون من مرور التيارات الهوائية البحرية فوق الأرض وانحرافها إلى الأعلى بواسطة الجبال الساحلية وبالتالي تبريدها تحت دوة حرارة التثبيغ وعندما يسقط المطر.

إن أكثر السقيط التضاريسي تساقط على السفوح الواقعة في مهب الرياح (Windward).

أما النوع الثالث من السقيط هو سقيط الأعطار والجبهة (Cyclonic and frontal) عندما تكون هناك منطقة معينة ذات ضغط منخفض فإن الهواء يحاول دخول هذه المنطقة من المساحات المحيطة المجاورة وبهذا يزاح الهواء ذو الضغط المنخفض إلى الأعلى حيث يبرد ويتساقط المطر

إن سقيط الجبهة (Frontal) يتكون عند حدود الكتل الهوائية التي تكون فيها إحدى الكتل أبرد من الكتلة الثانية وبهذا تشكل طبقة اسفنجية باردة تحتها، فترفع

الهواء الحار لتكون الغيوم والمطر. إن الانحدار لتلك الطبقات قد يكون منبسطةً وهذا تكون المساحات التي يسقط عليها المطر المتكون بهذه الطريقة واسعة جداً.

## 1.6.2 تسجيل السقيط:

يحدث السقيط في الدرجة الأولى على شكل مطر ولكن قد يحدث على شكل برد (Hail) أو شفاف (Sleet) أو ثلج أو ضباب أو ندى. لبريطانيا مناخ رطب على العموم ويزود المطر معظم هذه الكمية من الرطوبة، وفي مناطق أخرى من العالم قد يكو الشكل الوحيد للسقيط هو الثلج أو في المناطق القارية (Arid Zone) على شكل ندى.

إن سجلات المطر في المملكة المتحدة تستلم وتسجل من قبل دائرة الأنواء الجوية من 6500 جهاز قياس للمطر منتشرة في أنحاء بريطانيا وشمال أيرلندا. إن أكثر هذه الأجهزة تسجل القيم اليومية لكميات المطر المتساقطة وخلاف هذا هناك 260 محطة أخرى مجهزة أيضاً بجهاز قياس المطر المسجل الذي يسجل كمية المطر المتساقط بصورة متواصلة.

إن مقاييس المطر القياسية تصنع في بريطانيا من النحاس وتحتوي على أسطوانة نحاسية قطرها (5) أنجرات ذات حافة عليا مشطوفة، والتي تجمع المطر وتمسح له بالإنسياب خلال قمع إلى وعاء قابل للحركة من المعدن أو الزجاج. من هذا الوعاء يسكب الماء في اسطوانة زجاجية مدرجة كل يوم لقياس كميته وهناك مواصفات لنماذج عديدة لمقاييس المطر القياسية وكذلك طرق النصب والتشغيل. إن المقياس المسجل (Automgraphic) يعمل عادة بمجمة اسطوانة تدور تلقائياً بواسطة محرك ساعة ملصوق عليها ورقة بيانية حيث يسجل على هذه الورقة بواسطة قلم خاص الوزن الكلي للوعاء مضافاً إليه ماء المطر المتجمع أو عدد المرات التي يمتلئ فيه وعاء صغير معروف الحجم. إن مثل هذه المقاييس هي أكثر كلفة وأكثر احتمالاً للخطأ لكنها قد تكون النوع الوحيد الممكن استعماله في المحلات النائية ومن محاسن هذه الأجهزة أنها تبين شدة المطر حيث أنه عامل مهم في كثير من المسائل ولهذا السبب فإن العديد من محطات الرصد مجهزة بجهازين لقياس المطر، الجهاز القياسي (Standard) والمقياس المسجل.

صممت دائرة الأنواء الجوية البريطانية حديثاً أسساف حديثة من مقاييس المطر القياسية (1) (9).

إن الجهاز القياسي الحديث لقياس كمية المطر ليومته يتكون من مستلم على شكل دائرة مساحته  $15 \times 10^3$  ملم<sup>2</sup> (قطر 5.5 انجذ) منصوب على اطار بارتفاع 300 ملم فوق سطح ارض وهناك جهاز أكبر وأكثر دقة حيث أن مساحة المستلم  $75 \times 10^3$  ملم<sup>2</sup> (قطر 12.2 انجاً) منصوب أيضاً على اطار مرتفع 300 ملم فوق سطح الأرض. يصنع الجهاز من الزجاج الليفي (Fiber glass).

صمم نوع جديد من الأوعية القلابة الآلية (Tipping-packet) وهو ميسر مع نظام للقياس عن بعد وذلك للتمكن من قراءته الجهاز من مسافة بعيدة بواسطة جهاز إرسال واستقبال. إن الجهاز مجهز باتصال تليفوني (هاتفي) ورقم ٢٠٠٠ حيث يمكن الاتصال به بالطريقة الاعتيادية.

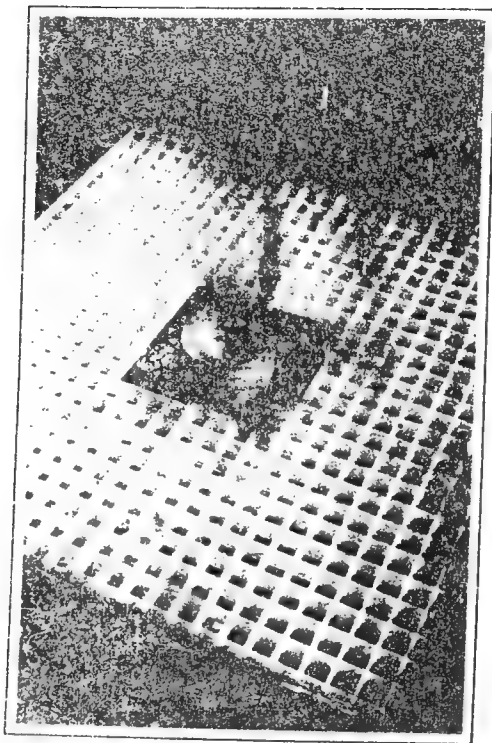
إن كمية المطر المتجمعة في الجهاز منذ اخر مرة صغر فالجهاز يرسل مجموعة من النبضات المسموعة تمثل الثلث والعشرات والأحاد عند كل مرة يزداد فيها المطر بمقدار (1) ملم ومن الممكن استطلاق الجهاز في أي وقت وبشكل ذلك بقضبان قصيرة يستطيع الحصول على شدة المطر بعملية بسيطة ويدون أي نتائج (2). أجريت أبحاث عديدة في السنوات الأخيرة حول تأثير توجيه مقاييس المطر وقد ظهر بأن تحصل أحسن النتائج وأضبط القراءات عندما ينصب الجهاز على سطح الأرض (١) وليس على ارتفاع معين من سطح الأرض.

من الضروري في حالة نصب الجهاز على سطح الأرض أن تحفر حفرة لوضع الجهاز داخلها وتغطي من الأعلى بشبكة متكونة من ألواح رقيقة متعامدة مائنة للترشيش (Splash).

يصور الشكل (3.2) طريقة نصب نموذج لقياس المطر. وإن نصب جهاز لقياس المطر على سطح ارض يكون غالباً في الكائنة والصيانة.

إن السجلات السنوية للمطر لكل البلاد محلل إحصائياً وتقدم على رسوم بيانية

(9) يدل الرقم بين ( ) على رقم المرجع في قائمة المراجع في نهاية الكتاب.



الشكل (3.2)

مقياس مطر اتوماتيك مع اطار في مستوى الأرض مع شبكة ضد الوحل

وتنشر سنوياً بواسطة دائرة الأنواء الجوية على شكل كتيب بعنوان أمطار بريطانيا (British rainfall). إن فوائد قياسات المطر ستناقش في الجزء (8.2) من هذا الفصل.

## 2.6.2 شبكة مقاييس المطر:

إن السؤال الذي يطرح باستمرار هو ما يتعلق بعدد وأنواع مقاييس المطر اللازمة لضمان الحصول على تخمينات دقيقة لكميات المطر الساقطة على مساحة معينة. يورد بلياسدال (Bleasdale) (4) الجدول (2.2) و (3.2) كدليل عام واقتراحات للعمل بموجبها في هذا المقصود.

### جدول (2.2)

الحد الأدنى من أجهزة قياس المطر المطلوبة في مناطق منخفضة

أجهزة قياس المطر			كيلومتر مربع	ميل مربع
المجموع	شهرياً	يوميّاً		
3	2	1	2	0.8
6	4	2	4	1.6
10	7	3	20	7.8
15	11	4	41	15.6
20	15	5	81	31.3
25	19	6	122	46.9
30	22	8	162	62.5

إن التباين بين الجدولين المذكورين ليس كبيراً كما يظهر في النظرة الأولى حيث إن الجدول الأول يحدد كثافة المحطات اللازمة في أراضي الخزن المهمة والتي عادة تكون صغيرة. أما الجدول الثاني فهو يبين الكثافة اللازمة لتوزيع شبكة المحطات (المقاييس) لبلاد واسعة.

عند تطبيق التوجيهات العامة المتضمنة في الجدول (3.2) يجب أن يفهم بأن كل



### جدول (3.2)

الحد الأدنى من أجهزة قياس المطر للنسب المتوية الشهرية لتخمينات معدل المطر

عدد أجهزة قياس المطر	المساحة	
	كيلومتر مربع	ميل مربع
2	26	10
6	260	100
12	1300	500
15	2600	1000
20	5200	2000
24	7800	3000

حوض نهر كبير يتضمن عدداً من الأحواض الفرعية والتي يجب أن يوصي بوضع شبكة كثيفة من مقاييس المطر فيها علاوة على ذلك إن الكثافة القليلة للمقاييس المقترحة عادة ما تزداد جوهرياً في المساحات الجبلية وتنع فقط في الأراضي قليلة أو معتدلة الارتفاع وغير المحتوية على تضاريس أرضية معقدة. هناك مواد كثيرة جديرة بالاهتمام منشورة ومكرسة لتصميم الشبكات الهيدرولوجية ويستطيع القارئ الاطلاع عليها من المصادر الكثيرة الوافية حول هذا الموضوع في قائمة المصادر في نهاية الكتاب.

## 7.2 أشكال السقوط غير الممطر :

### □ الثلج والجليد :

للثلج القابلية على الاحتفاظ بالماء ولهذا فانه يمثل نوعاً من الخزن. إن كثافته وبالتالي كمية المياه التي يحتويه متغيرة من القليل مثل 0.005 بالنسبة إلى الثلج حديث السقوط إلى 0.6 للثلج القديم المضغوط. إن كثافة الثلج تختلف بالنسبة للعمق. لهذا فإن العينات يجب أن تؤخذ من اعماق مختلفة من مقطع الثلج المتساقط قبل البدء بحساب كمية المياه المتوقعة وهذه العملية تؤخذ عادة بواسطة انبوب خاص لأخذ العينات.

من الممكن قياس كمية الثلج المتساقط بواسطة مقياس المطر الاعتيادية بعد تجهيزها بنظام خاص للتدفئة أو بواسطة عمود الثلج البسيط (Snow stake) إذا لم يكن هناك أي انحراف للثلج ويكون قياس الكثافة متوافقاً مع وقت سقوط الثلج.

وترسم خطوط اعتراض الثلج (Snow traverses) بواسطة المسح الحقل على طول الجبلية (Catchment) لاستخراج سمك طبقة الثلج وكثافته بالنسبة لأعماق مختلفة لكي يكون من المستطاع حساب المكافئ المائي لغرض التنبؤ بالفيضان.

#### □ الضباب: (Fog)

إن تخمين كمية الرطوبة الواصلة إلى الأرض من الضباب تجري بواسطة تركيب جهاز جمع الضباب فوق مقياس المطر الاعتيادي. إن جامع الضباب هو عبارة عن اسلاك معدنية اسطوانية المقطع حيث تتكاثف عليها قطرات الماء وتساقط على مقياس المطر. إن المقارنة بين قراءة هذا المقياس ومقياس مطر آخر في نفس الموقع يرينا الفرق والذي هو عبارة عن كمية التساقط عن طريق الضباب. إن استخراج مثل هذه التقادير تحتاج إلى خبرة واستعمال معاملات تحويلية خاصة. في بعض مناطق الغابات قد تكون هذه الكمية كبيرة ومؤثرة وقد تصل إلى حوالي 50-100% من كمية المياه المتساقطة الكلية.

#### □ الندى: (Dew)

إن مجمعات الندى تستعمل في السويد لقياس كمية المياه المتساقطة عن طريق الندى وقد صنعت هذه الأجهزة على شكل قمع معدني مخروطي الشكل مطلي من داخله بمادة بلاستيكية والمساحة الأفقية لفتحة هذا القمع حوالي متر مربع واحد. إن برك الندى (Dew Ponds) تستعمل كأحد مصادر المياه في عدد من الأقطار وهي عبارة عن منخفضات ضحلة مكسوة بالبلاط الخزفي.

#### □ التكاثف: (Condensation)

ولو أن الضباب والندى هما نتيجة لعوامل التكاثف فإن التكاثف كذلك يولد بعض السقيط كالذي يكون عند مرور هواء رطب فوق سطح جليدي وكذلك في المناخ المعتدل بواسطة التكاثف على الطبقات العليا من التربة لا يحصل مثل هذا السقيط على نطاق واسع ولكنه قد يكون كافياً لإدامة حياة النبات.

## 8.2 توسيع وتفسير المعلومات:

### 1.8.2 تعاريف:

إن الكمية السنوية الكلية من المطر المساقط على نقطة معينة هي في الغالب الرقم الأساسي المتوفر للسقيط. ولأغراض متعددة فإن هذا ليس كافياً وإن معلومات أخرى قد تكون مطلوبة مثل بعض أو كل ما يأتي:

1 – الشدة: (Intensity)؛ وهي مقياس كمية المطر المساقط في زمن معين مثل مليمتر في الساعة.

2 – الاستدامة: (Duration)؛ وهي المدة من الزمن والتي خلالها سقط المطر.

3 – التردد: (Frequency)؛ وهذا يعزو إلى التوقعات بأن عمقاً معيناً من المطر سيسقط في زمن معين. إن مثل هذه الكميات قد تكون متساوية أو متجاوزة في عدد معين من الأيام أو السنوات.

4 – امتداد المساحة: (Areal extent)؛ وهذا يتعلق بالمساحة التي يسقط فوقها المطر ليستعمل.

### 2.8.2 العلاقة بين الشدة والاستدامة: (Intensity-duration relationship)

على العموم – كلما زادت شدة المطر كلما قصر زمن استمراريته. إن المعادلة التي تعبر عن هذه الصلة تكون على شكل

$$i = \frac{a}{t + b} \quad (5.2)$$

حيث (i) الشدة بالليمترات في الساعة و (t) الزمن بالساعات و (a)، (b) ثابتان موقعيان وبالنسبة لاستدامة المطر لأكثر من ساعتين.

$$i = \frac{c}{t^n} \quad (6.2)$$

حيث c، n ثابتان موقعيان.

إن أكبر شدد سجل في العالم هي 30 مليمتراً في دقيقة واحدة و 200 مليمتراً في عشرين دقيقة و 26,000 مليمتراً في سنة واحدة. وهناك معلومات أخرى معطاة في القسم (9.6) من هذا الكتاب.

### 3.8.2 العلاقة بين الشدة والاستدامة والتردد:

نشر أي. جي. بلهام في عام 1935 مقالاً المشهورة لهذه العلاقة في المملكة المتحدة (5) والمحتوية على منحني بياني والموضح في الشكل (4.2). إن لهذا المنحني مصطلحات غير موضوعية مثل (نادر جداً) و(استثنائي) و(رائع) مفضلاً ذلك على تواتر الحدث ومع ذلك فإنه بالإمكان حساب التردد من المعادلة التالية:

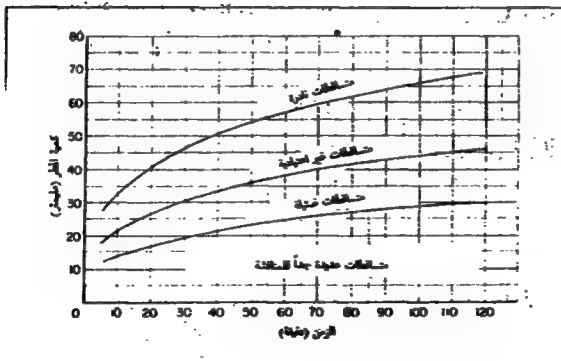
$$n = 1.25t(r + 0.1)^{-2.55} \quad (7.2)$$

حيث:

$n$  = عدد مرات الحدث كل عشر سنوات.

$r$  = عمق المطر بالانجات.

$t$  = أمد المطر بالساعات.



الشكل (4.2)

تصنيف المطر لـ (William)

إن هذه المعادلة تأخذ الشكل التالي بالوحدات القياسية (SI)

$$n = 1.214 \times 10^{35} (P + 2.54)^{-3.55} \quad (8.2)$$

حيث:

$P$  = عمق المطرب بالمتر و  $n$  وحدات و  $t$  تبقى ثابتة كما في المعادلة السابقة (7.2).

من ناحية ثانية، إن المطلوب عادة في هندسة المايديوليك هو فترة التكرار لعمق معين من المطر ولمدة معينة من الزمن. ويستخرج بواسطة إعادة ترتيب المعادلة (8.2) لتصبح

$$P = \left( \frac{(1.214 \times 10^{35}) NT}{600} \right)^{-1/3.55} - 2.54 \quad (9.2)$$

حيث:

$N$  = تردد الحدث وهنا معبر عنه كمرة واحدة كل  $N$  سنة ( $10/n$ ).  
 $T$  = الاستدامة باللفظي.

أما إذا كان المطلوب هو الشدة فإن العمق  $P$  يقسم على الزمن بالساعات

$$i = \frac{60P}{T} \text{ mm/h} \quad (10.2)$$

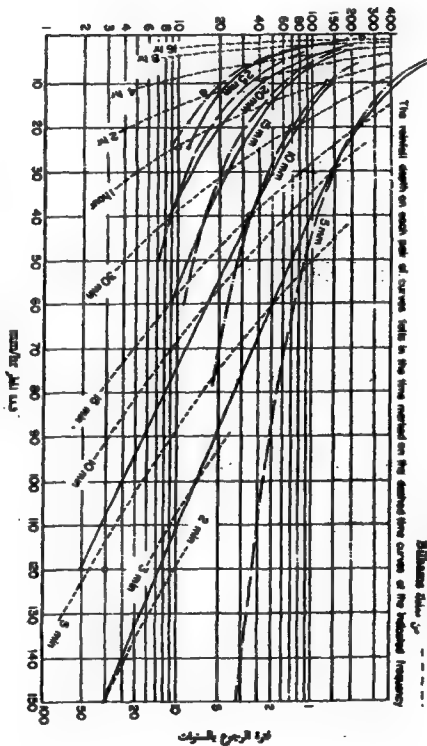
وبتعويض قيمة  $(P)$  في المعادلة (9.2) نحصل على:

$$i = \frac{60}{T} \left( (202.3NT)^{-1/3.55} - 2.54 \right) \text{ mm/h} \quad (11.2)$$

إن معادلة (11.2) هي عبارة عن معادلة بلهام المستعملة في المصدر بالوحدات القياسية.

إن عمل بلهام هذا قد تمح ووسع بواسطة هولند (Holland) (7) حيث أظهر

معدلات الترددات المختلفة

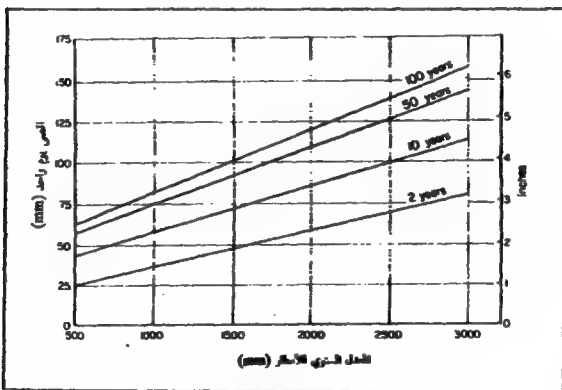


20 متر (1956-62)  
10 متر (1956-60)  
معدلات الترددات المختلفة

الشكل (5.2)  
خطوط تكرار عمق المياه

بأن معادلات بلهام قد غالت في تقدير احتمالات المطر في الشدة العالية (حوالي أو أكثر من 35 ملم / ساعة). إن العمل الأخير موضحاً بصورة جيدة على شكل منحنيات بيانية والشكل (5.2) يوضح كلا من معادلات بلهام (ذات الخطوط المتقطعة) وتعديل هولند الخطوط المتصلة) حيث يعطي الشكل الفترة المتكررة لعنق معين من المطر لتحل في فترة معينة من الزمن كمتوسط لأكثر من 14 محطة قياس في انكلترا.

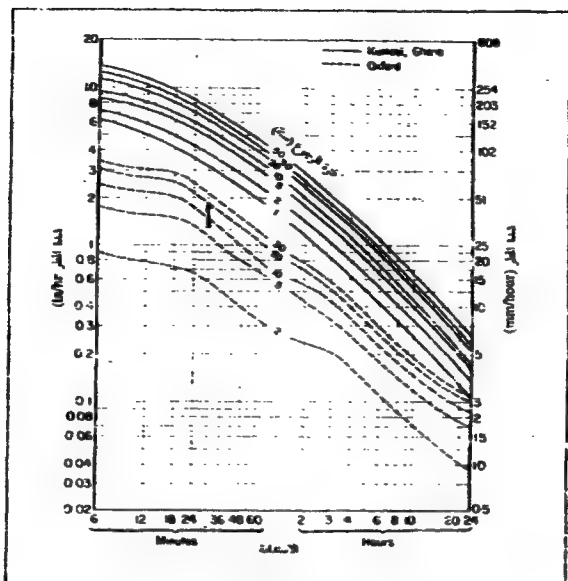
والطريقة الثانية لعرض مثل هذه البيانات تستند على العلاقة أو الربط بين المتوسط السنوي لسقوط المطر في بريطانيا وأكبر عمق للمطر في يوم واحد بعدد من الفترات المتكررة كما هو موضح في الشكل (6.2) وبالإمكان استخراج منحنيات لمناطق



الشكل (6.2)

العلاقة بين أقصى مطر ليوم واحد لفترة رجوع معينة والمعدل السنوي للأمطار في بريطانيا

عددة كما هو موضح في الشكل (7.2) لأوكسفورد في انكلترا أو كوماس في غان بالتوالي. ويجب أن يشار إلى الفرق بين الحرارة الساحلية والمناخ الاستوائي.

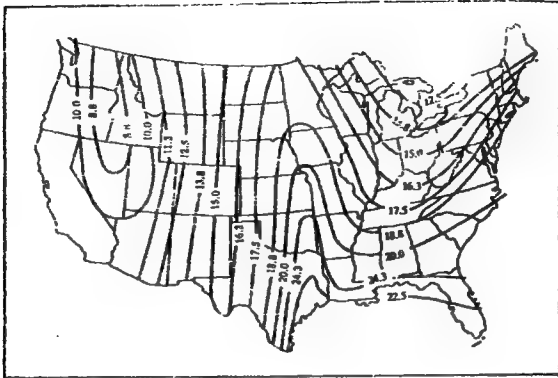


الشكل (7.2)

العلاقات بين تكرار - شدة - امطار ممتدة في (Kutami)، (Ghara) و (Omdur).

نعرض البيانات أيضاً على شكل خرائط للمناطق مع خطوط الأمطار (isohyetal lines) الموضحة على الخط الكلي المتوقع حدوثه في زمن (t) وبتردد مدة كل (N) سنة. إن التشرات الكلاسيكية (التقليدية) لخط هذا النوع قد أعدت بواسطة بارنل (Yarnall) (8) إذ تبين مثل هذه الخرائط للولايات المتحدة. إن الشكل (8.2) يمثل نموذجاً لهذا وهو مستخ من بحث بارنل ويبين هذا النموذج المطر ذو استدامة خمس دقائق والمتوقع مرة كل 50 سنة.





الشكل (8.2)

مطر لفترة خمس دقائق، في (mm) المتوقعة مرة في كل 30 سنة في الولايات المتحدة

يقوم في الوقت الحاضر معهد الهيدرولوجي في المملكة المتحدة بالتعاون مع دائرة الأنواء الجوية بمشروع دراسة الفيضان. إن الجزء الأكبر من العمل في مجال الأرصاد الجوي يشمل على تحليل كميات كبيرة من بيانات المطر اليومية والبيانات الناتجة من مقاييس المطر المسجلة (Autographic). والآن فإنه من المستطاع استخراج متوسط شدة المطر الممكن تحقيقها أو تجاوزها بصورة موضوعية لأي منطقة أو فوق أي مساحة في المملكة المتحدة لأية استدامة ولأي فترة مكررة محددة. وبالإضافة إلى هذا هناك طاقمان متوفران من مقاطع العواصف (Storm profile) الأول للصيف والثاني للشتاء.

يتم اختيار المقطع من قبل المهندس على أساس نسبة العاصفة المختارة لتحقيق أو تجاوز درجة معطاة من المقطع المحدد. وبإمكان المصمم أن يطبق معدل مختار لسقوط مطر واستدامة للمقطع المختار مع معرفة بالفترة التكررة لهذه الظاهرة المركبة. إن هذه المعلومات الأخيرة وثيقة الصلة بصورة خاصة لتصميم مجاري مياه الأمطار.

## 4.8.2 العلاقات بين عمق المطر - المساحة - والزمن:

(Depth-area-time relationships)

من النادر أن يحدث السقوط بصورة متجانسة على كل المساحة. إن التغير في الشدة والعمق الكلي للسقوط يحدث من المركز إلى محيط العاصفة (9). إن شكل التغير هذا موضح في الشكل (9.2) حيث يظهر كيف أن للعاصفة المنقردة يقل معدل العمق من الحد الأعلى كلما زادت المساحة المعنية. من المفيد على العموم - أن يحدد هذا وقد بين هولند (10) بأن النسبة بين مقدار المطر الساقط على نقطة معينة والساقط على مساحة إلى حد  $10 \text{ كم}^2$  ولعواصف مطر مستمرة بين 2 إلى 120 دقيقة تعطى بواسطة المعادلة التالية:

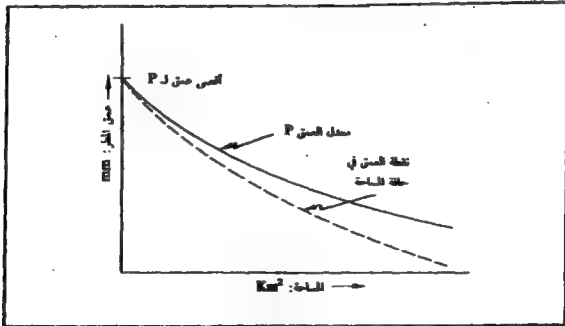
$$\frac{\bar{P}}{P} = 1 - \frac{0.3\sqrt{A}}{t^{0.5}} \quad (12.2)$$

حيث:

$\bar{P}$  = متوسط ارتفاع المطر فوق المساحة.

$P$  = عمق المطر على نقطة معينة في مركز المساحة.

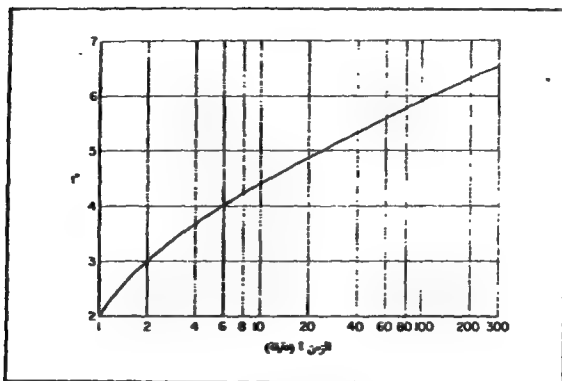
$A$  = المساحة بالكيلومترات المربعة.



الشكل (9.2)

منحنيات العمق - المساحة للمطر

$\epsilon^0$  = دالة كاما المعكوسة (Inverse gamma) لزمن العاصفة مستخلصة من العلاقة في الشكل (10.2).



الشكل (10.2)  
التوافق بين العاصفة  $\epsilon^0$  و  $t$

□ مثال (1.2):

ما هو متوسط شدة المطر فوق مساحة مقدارها 5 كيلومترات مربعة خلال عاصفة امدها 60 دقيقة ويتردد مرة كل عشر سنوات في بريطانيا.

من الشكل (5.2) إن خط التردد لمرة كل عشر سنوات يقطع منحنى ارتفاع المطر 25 ملم في حواي الزمن 60 دقيقة.

$$P = 25 \text{mm.}$$

والزمن معطى وهو 60 دقيقة

ومن الشكل (10.2)

$$\epsilon^0 = 5.6$$

وبالتالي :

$$\frac{\bar{P}}{P} = 1 - \frac{0.3\sqrt{5}}{5.6} = 1 - 0.12 = 0.88$$

$$\therefore \bar{P} = 0.88P = 0.88 \times 25 = 22 \text{ mm in 1 hour}$$

وللمقارنة بواسطة منحنيات لو كسفود. ومن الشكل (7.2) إن تواتر عشر سنوات  
لأمد 60 دقيقة يعطينا 23 ملمتر

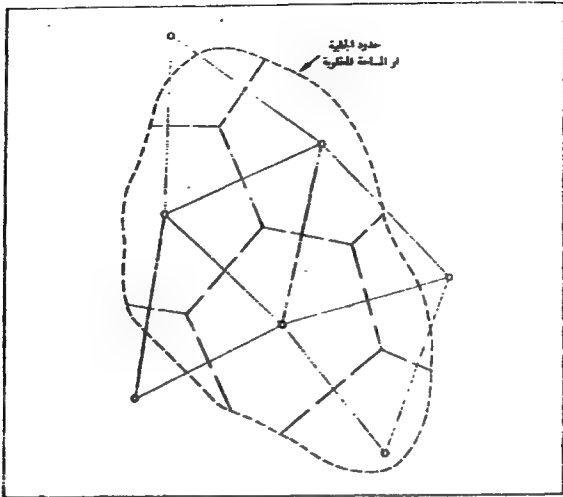
$$P = 0.88 \times 23 = 20 \text{ mm in 1 hour.}$$

عند تخمين كمية المطر الكلية الساقطة فوق مساحات كبيرة فإن حدوث عاصفة  
معينة وإسهامها (تأثيرها) على القياس غير معروف وإنه من الضروري تحويل القيم  
العديدة للمطر على نقاط منفردة لأعطاه متوسط عمق المطر على مساحة معينة.

إن أبسط طريقة لعمل هذا هو بأخذ المعدل الحسابي للكميات المعروفة لكل  
نقاط المساحة. فإذا ما كان توزيع مثل هذه النقاط فوق المساحة متجانساً والاختلاف في  
كميات المطر في القياس المستقلة غير كبير. فإن الطريقة تعطي نتائج جيدة  
ومعقولة.

والطريقة الأخرى - والنسوية إلى تيسن (12) (Thiessen) تعرف مناطق تأثير  
كل محطة يرسم خط بين كل محطتين وتصنف هذه الخطوط بأعمدة وفرض بأن كل  
المساحة المحصورة ضمن هذه الحدود المتكونة من تقاطع هذه الأعمدة لها نفس الكمية  
من المطر كما هو مسجل في القياس المحصور في هذه المساحة.

وطريقة أخرى لهذا الأسلوب هو يرسم أعمدة للخطوط الموصلة بين القياس في  
نقاط متوسط المساحة العمودية بدلاً من منتصف الطول. إن هذا التحليل يكون بعض  
الأحيان أكثر منطقياً كقاعدة لأنه يعطي اختلافاً بسيطاً في النتائج وهاتان الطريقتان  
تعطيان نتائج مضبوطة أكثر من المعدل الحسابي لكن تضمناً جهداً أكثر. إن مفضل  
تيسن موضح في الشكل (11.2). والطريقة الثالثة هي يرسم خطوط الأمطار أو  
الخطوط الكتروية للعمق التساوي من المطر. وتحسب المساحة بين خطوط الأمطار



الشكل (11.2)

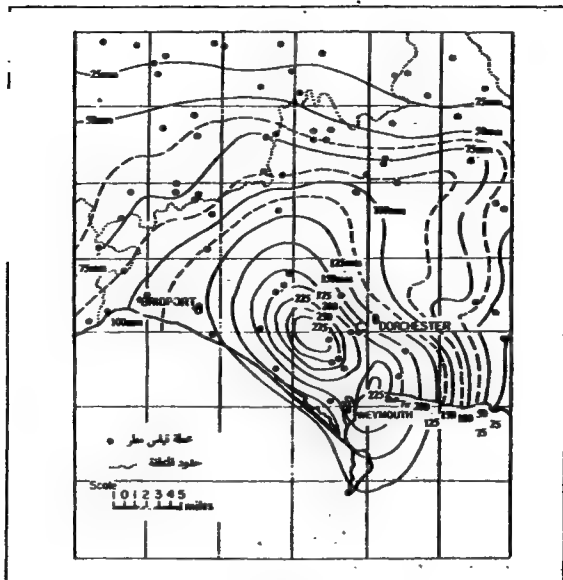
مضلع (Thiessen)

فرضت المساحة التي يراد حساب المطر لحظة قياس منطقة بواسطة خطوط متقطعة وحدود الجبلية

التعاقية ويحدد معدل المطر فوق المساحة. إن المعدل الكلي للمطر فوق المساحة المطلوبة نستخرج من المتوسط الكمي (Weighted average). إن الطريقة الثالثة قد تكون هي أفضل الطرق الثلاث ولها بعض المحاسن من أن خطوط الأمطار قد ترسم الأخذ بنظر الاعتبار بعض الوقائع المحلية مثل الرياح السائدة والطوبوغرافية غير المستوية، الشكل (12.2) يمثل خريطة نموذجية لخطوط الأمطار ولو أن المطر المسجل هو غير قياسي إذ يمثل أكبر كمية من المطر اليومي المسجل في المملكة المتحدة.

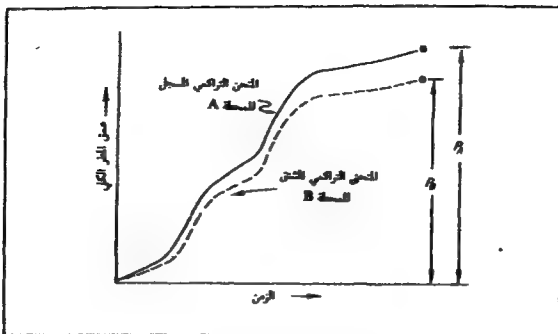
#### 5.8.2 تكملة البيانات المطرية:

غالباً ما يحدث عند تجميع بيانات انظر أن هناك مساحات ليس فيها بيانات كافية وخاصة ما يخص شدة المطر. مثلاً، ولغرض بأن هناك محطتين لقياس المطر (A)



الشكل (12.2)  
الأمطار على (Dorset). 18 تموز 1985

و (B) وهناك مقياس مسجل في محطة (A) ومقياس غير مسجل في محطة (B) ولنفرض أن المنحنى التجميعي للمطر في محطة (A) كما هو موضح بخط مستمر في المنحنى الموضح في الشكل (13.2). فالكمية الكلية للمطر في محطة (B) معروفة وموضحة كنقطة على هذا الشكل فلذا ما كان الموقع الطبيعي لمحطة (B) قرب محطة (A) وإن طبقة المطر مرجحة أن تكون لها نفس الصفات والتردد لذلك فإنه من الممكن فرض بأن المنحنى التجميعي لمحطة (B) سيكون كما هو موضح كخطوط متقطعة في الشكل.



الشكل (13.2)  
اشتقاق لمعلومات المطر

إن هذه الطريقة لتحديد المعلومات ويجب أن تستعمل في دقة وعناية وقد تكون ذات فائدة كبيرة.

ومثال آخر لهذا هو ملء الفراغات في سجلات محطة ما عندما تكون مثل هذه المعلومات لنفس المدة موجودة. في المحطات المجاورة. لنفرض في سنة معينة لا يوجد سجل لكمية المياه الساقطة في محطة (A) ونفس السنة فإن الكمية الكلية للمياه الساقطة في محطة (B) كانت 650 ملم فإذا فرضنا بأن المعدل السنوي للتساقط في عطيتي (A) و (B) كانتا 700 و 600 ملم فبعملية تناسب بسيطة (عل فرض بأن معدل العلاقة تبقى ثابتة لهذه السنة أيضاً) فإن كمية المياه المتساقطة السنوية في (A) ستكون:

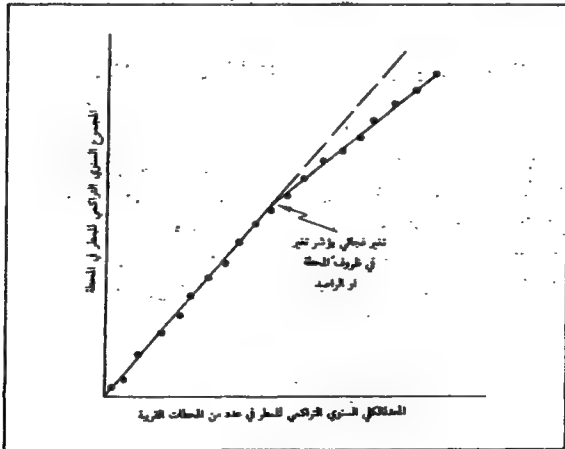
$$758 = 650 \times \frac{700}{600} \text{ ملم.}$$

إن هذه النتيجة قد تقارن لمصدر آخر مثل كمحطة (C) مثلاً.

## 6.8.2 الاتجاه الظاهري (Apparant trends) في البيانات المسجلة:

لعدد من سنوات القياس قد يلاحظ بعض الانحراف في كمية المياه المتساقطة السنوية. ومن المهم جداً معرفة ما أن هذا الاتجاه لا يعتمد على طريقة القياس بل إنه بسبب تغير الظروف الميولوجية (المناخية) فقط.

قد يدقق هذا بواسطة رسم المنحنى الكتلي المزدوج (Double mass curve) كما هو موضح في الشكل (14.2). إن الانحراف المفاجيء عن العلاقة الخطية المستقيمة الموضحة بالخط المتقطع في الشكل بين أن الاختلاف قد حصل نتيجة أخطاء في القياس وليس للظواهر المناخية للمنطقة أي علاقة في تسيب مثل هذا التغير. وقد يحدث بسبب تشييد بناية أو جدار قرب المقياس والذي يؤثر على تخطيط الرياح حول المقياس، زراعة الأشجار، تبديل جهاز بآخر وحتى تبديل قارئ المقياس الذي قد يستعمل نهجاً آخر في القياس.



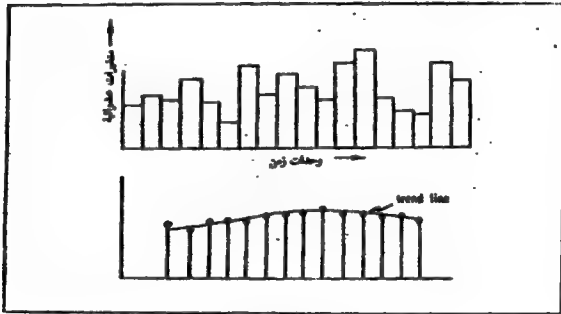
الشكل (14.2)

تأكد من صحة المحطة بواسطة منحنى التراكبي المزدوج



## 7.8.2 الاتجاهات من المعدل التصاعدي: (Trends from progressive averages)

إن الاتجاهات قد تبين أكثر وضوحاً باستعمال طريقة إحصائية بسيطة بفحص المعدلات لفترات أطول وتحريك معدل للمجموعة لسة واحدة في كل مرة. فلو فرضنا بأن بيانات المطر لمحة لمعد من السنين هي كما موضحة في الشكل (15.2). إن معدل الأول خمس سنوات قد أخذ معلها ورسم المعدل في منتصف المسافة للمجموعة. إن النقطة الأخرى تستخرج من حذف السنة الأولى من المجموعة وأخذ معدل السنوات من 2 إلى 6 ويرسم هذا المعدل في منتصف المسافة للمجموعة هذه، في هذه الطريقة يمكن إيجاد الاختلاف الواضح للسنوات المعنية واكتشاف الاتجاه الطويل المدى.



الشكل (15.2)

الاتجاهات من المعدلات المتقدمة

إن نفس الأسلوب يمكن استعماله للحرارة، ساعات شروق الشمس، سرعة الرياح، وغيرها من البيانات.

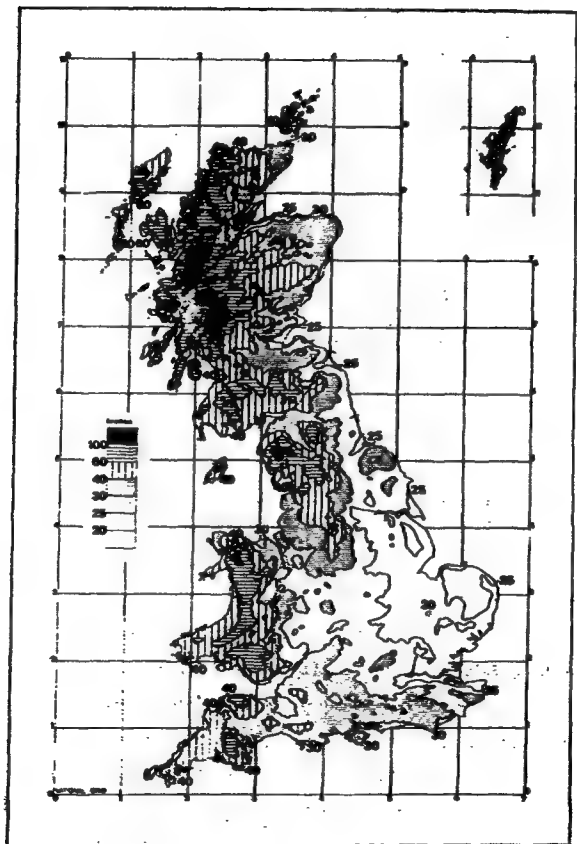
إن خرائط المطر لبريطانيا وإيرلندا مطبوعة في الصفحتين اللاحقتين يأخذ من دائرة الأنواء الجوية والخدمات الميترولوجية الأيرلندية بالمعقب.

باستعمال هذه الخرائط فإن المعدل الطويل المدى لسقوط المطر السنوي لأي منطقة من الممكن استخراجه لاستعماله مع الشكل (6.2).

مع الملاحظة بأن الوحدات للخريطين المرتقتين مختلفة.

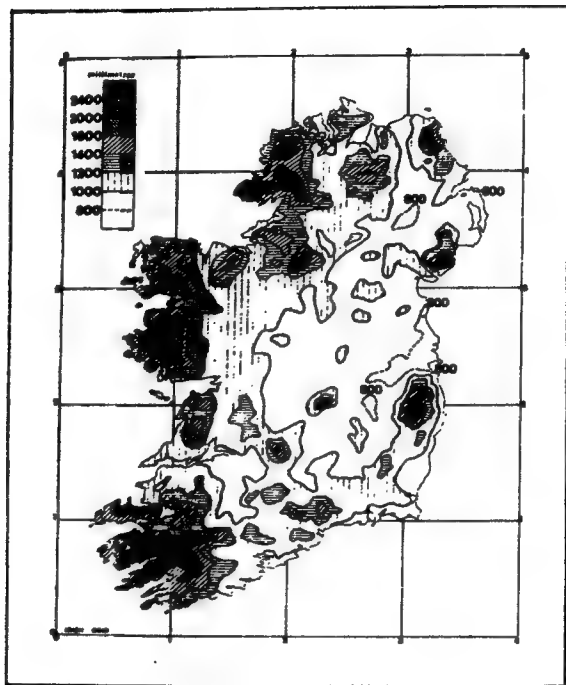
معدل المطر السنوي

1916 — 1950



معدل المطر السنوي

1931 — 1960





## التبخر والتتح

### Evaporation and Transpiration

#### 1.3 العوامل الجوية:

يعتبر التبخر عاملاً مهماً في جميع دراسات مصادر المياه، حيث يؤثر على مدفوعات أحواض الأنهار والسعة اللازمة للخزانات وحجم مخلفات الضخ والاستهلاك المائي للمحاصيل ومدفوعات المياه الجوفية وذلك قليل من العوامل التي تتأثر بالتبخر.

يتبخر الماء من سطح الأرض في كلا حالتها الجرداء أو المغطاة بالنبات وكذلك من الأشجار ومن السطوح غير النافذة مثل السقوف والطرق ومن سطح الماء المكشوف والأنهار الجارية.

إن معدل التبخر سيكون متغيراً مع تغيير اللون والخواص الانعكاسية للسطوح (The Albedo) وسيكون مختلفاً للسطوح المعرضة مباشرة إلى أشعة الشمس أو المظللة منها.

يصل معدل فقدان الماء بواسطة التبخر في الأقاليم الرطبة الدافئة إلى 600 ملم في السنة من السطوح المائية المكشوفة وبعما 450 ملم في السنة من سطوح الأرض. أما في الأقاليم المتناحية القارية، كالعراق مثلاً، تصل الأرقام المشار إليها إلى 2000 ملم و 100 ملم في السنة وهذا التفاوت الكبير في الحالة الأخيرة يعزى إلى شدة التساقطات خلال السنة.

فيما يلي بعض العوامل الجوية التي تؤثر على التبخر:

#### □ الإشعاع الشمسي: (Solar radiation)

التبخر هو عملية تحول الماء إلى بخار. تحدث هذه العملية بدون انقطاع خلال ساعات النهار وكثيراً ما تحدث خلال ساعات الليل. وبما أن تغير حالة جزيئات الماء من السائلة إلى الغازية يحتاج إلى طاقة مدفوعة (الحرارة الكامنة للتبخّر) فإن نشاط هذه العملية سيزداد تحت إشعاع الشمس المباشر. إن الغيوم تحجب الطيف الشمسي الكامل من الوصول إلى الأرض وبالتالي تقلل من الطاقة المدفوعة يبطيء من عملية التبخر.

#### □ الرياح: (Wind)

عندما يتبخر الماء إلى الجو تشيع الطبقة الهوائية المحاذية لسطح الأرض ولاستمرار عملية التبخر يجب أن تزاخ هذه الطبقة ويحل محلها باستمرار طبقة هواء جافة. إن حركة الهواء هذه في الطبقة المحاذية لسطح الأرض تعتمد على الرياح وبهذا فإن سرعة الرياح هو عامل مهم في عملية التبخر.

#### □ الرطوبة النسبية: (Relative humidity)

إن العامل الثالث الذي يؤثر في التبخر هو الرطوبة النسبية للهواء. في حالة ارتفاع رطوبة الهواء تقل قابلية الهواء لامتصاص بخار الماء وينخفض بذلك معدل التبخر. إن إحلال محل الطبقة الهوائية المشبعة والمحاذية لسطح الأرض بهواء ذي رطوبة عالية لن يساعد على استمرار معدل التبخر. وسيحدث هذا فقط إذا كان الهواء الداخل أقل رطوبة من الهواء المزاح.

#### □ الحرارة: (Temperature)

كما ذكر سابقاً، إن الطاقة المدفوعة ضرورية لعملية التبخر فإذا كانت درجة الحرارة المحيطة بالهواء وسطح الأرض عالية فإن التبخر سيتواصل بسرعة أكبر لو كانت باردين. لأن الطاقة الحرارية تكون جاهزة أكثر. بما أن قابلية الهواء لامتصاص بخار الماء تزداد بارتفاع درجة الحرارة، لذلك فإن درجة حرارة الهواء لها تأثير مضاعف على كمية وكيفية حدوث عملية التبخر. بينما يكون للدرجة حرارة الأرض والماء تأثير مباشر مفرد.

## 2.3 التتح (Transpiration)

تحتاج النباتات النامية بمختلف أنواعها إلى الماء لإدامة الحياة ويختلف هذا الاحتياج باختلاف اصنافها. تحتفظ النباتات بجزء بسيط من الماء في بنيتها والجزء الأكبر يمر من خلال الجذور إلى الساق أو الأغصان ومن ثم يترشح إلى الجو من خلال أوراق النبات.

في الظروف الحقلية عندما يكون سطح الأرض مغطى بالنباتات فإنه من المستحيل عملياً التمييز بين التتح والتبخر وعادة تربط العمليتان مع بعض وتسمى بـ (Evapo-transpiration) (بالتبخر - نتح).

إن كمية الرطوبة التي تفقدها الأرض بواسطة (التبخر - نتح) تعتمد أولاً على سقوط الأمطار وثانياً على العوامل الجوية مثل درجة الحرارة والرطوبة وغيرها وثالثاً على نوع النبات وطريقة الفلاحة وسعة الرقعة الزراعية. وتزداد هذه الكمية (على سبيل المثال) بالنسبة للأشجار الكبيرة التي تمتد فيها الجذور إلى أعماق كبيرة داخل التربة رافعة الماء إلى أعلى ومستغلة بعملية التتح في حين أن هذه الكمية من الماء تكون بعيدة عن تأثير التبخر السطحي.

تستمر عملية التتح في الغالب كلياً خلال النهار وتحت تأثير الإشعاع الشمسي وفي خلال الليل تنغلق ثغيرات النباتات وبذلك يكون فقدان الرطوبة من سطوح النباتات قليل جداً.

أما التبخر فيستمر طالما تكون الحرارة اللازمة متواجدة. والعامل الآخر الذي يليه في الأهمية هو توفر الكمية الكافية من المياه فإذا ما توفر الماء دائماً وبغزارة للنبات لكي يستعمل في عملية التتح فتكون كمية التتح أكبر عما لو كان الماء المتوفر أقل من الحاجة وعلى هذا الأساس يجب التمييز بين التبخر - نتح الكامن (Potential Evapro-transpiration) والحقيقي الذي يحدث.

إن معظم طرق تحمين كمية التبخر - نتح تفرض وجود ماء وافر وعليه فإنها تعطي الأرقام الكامنة.

### 3.3 طرق تخمين التبخر:

#### 1.3.3 طريقة الموازنة المائية أو معادلة الخزن:

تشتمل هذه الطريقة على إيجاد صورة كاملة لكميات المياه الداخلة والخارجة إلى جاية معينة أو حوض. فإذا ما قيست كمية الأمطار المتساقطة على كل المساحة بأسس منتظمة ومبرجة فمن الممكن إيجاد كمية الماء الواصل إلى الجو بشكل قريب من الواقع. إن انتظام قياس مناسيب المجاري المائية التي تنزل المساحة ودقة منحنيات معدلات التصريف المعدة سيعطي مؤشراً إلى كمية المياه الخارجة من المساحة عن الطرق السطحية.

من الممكن تحليل الفرق بين هاتين الكميتين بأحد السبل التالية:

- 1 - بواسطة التغير الحاصل في الخزن في الجاية إما في البحيرات السطحية أو للتخفيضات أو في داخل طبقات الأرض الحاملة للمياه.
- 2 - بواسطة الفرق في الانسياب تحت الأرض من أو إلى الجاية.
- 3 - بواسطة التبخر والتسح.

من الممكن كتابة معادلة الخزن بصورة عامة كالتالي:

$$E = P + I \pm U - O \pm S \quad (1.3)$$

حيث:

$E$  = التبخر والتسح.

$P$  = الكمية الكلية للسقوط.

$I$  = المياه السطحية الداخلة (إن وجدت).

$U$  = المياه الجوفية الخارجة.

$O$  = المياه السطحية الخارجة.

$S$  - التغير في الخزن (السطحي وتحت السطحي).

إذا أخذت القراءات خلال فترة طويلة كافية فإن أهمية ( $S$ ) غير التراكمية



مستأنص وبالتالي من الممكن إهمالها وخاصة إذا ما اختيرت نقاط البداية والنهاية من الدراسة لتتوافق بقدر الامكان مع نفس الظروف الفصلية. ليس في الإمكان تعميم أهمية (U) لكن من الممكن جعلها بالمرتبة الثانية من الأهمية في عدة حالات بسبب تعرقل انسياب المياه الجوفية بالعوامل الجيولوجية المعروفة. وفي تلك الحالة من المستطاع تخمين التبخر - نتج ويؤدي هذا الأسلوب إلى الوصول إلى التقريب الأول.

### 2.3.3 طريقة موازنة الطاقة:

تشبه هذه الطريقة طريقة الموازنة المائية وتتضمن حل معادلة التي تحوي على جميع مصادر ومستلمات الطاقة الحرارية ويترك التبخر كمجهول وحيد. إن هذه الطريقة تتطلب عدداً كبيراً من الأجهزة والأدوات وما زالت قيد التطوير ولا يمكن استعمالها آتياً وبدون الحصول على كمية كبيرة من المعلومات وتلك المعلومات لا تكون متوفرة في الحال وعليه فإنها طريقة اختصاصية.

### 3.3.3 المعادلات التجريبية:

هناك محاولات عديدة للحصول على معادلات مرضية لتخمين مقدار التبخر. وتلك المعادلات عادة للتبخر من سطح الماء المكشوف وهي بالتحديد طرق عامة. والسبب في ذلك بسيط. فإن حدوث التبخر يتطلب تجهيز أو توفر الماء ومهما تكن الظروف المناخية فإن التبخر يكون معدوماً في حالة عدم توفر الماء وعلى هذا الأسس فإن طرق التخمين التي تستعمل المعلومات المناخية تفترض تواجد كمية من الماء وافرة ويعني آخر سطح مائي مكشوف. إذن نتائج تلك المعادلات لا تكون للقياسات الحقيقية لكن للتبخر الكامن (Potential evaporation). غالباً ما تكون هاتان الكميتان متساويتين (الحقيقية والكامنة) في خزانات المياه التي فيها سطح مائي مكشوف.

عند حساب التبخر من سطح الأرض فإن مقدار فقدان المياه بهذه الطريقة يعتمد على توفر: الطر ومستوى الماء الأرضي والنبات ونوع التربة كل هذا له تأثير والذي ربما يوضح بتطبيق العوامل التجريبية، والتي تكون عادة أقل من وحدتها واحدة إلى تبخر الماء من السطح المكشوف.

هناك حالتان يجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار:

- 1 - عندما تكون درجة حرارة الماء مشابهة إلى درجة حرارة الهواء.
- 2 - عندما تكون درجة حرارة الماء مختلفة عن درجة حرارة الهواء.

الحالة الأولى نادرة الحدوث وتعامل تجريبياً بالمعادلة التالية:

$$E_a = C(e_s - e) f(u) \quad (2.3)$$

حيث:

$E_a$  = تبخر الماء المكشوف في وحدة الزمن (الهواء والماء في نفس درجة الحرارة (t) بالدرجات المئوية) ملم / يوم.

$C$  = ثابت تجريبي .

$e_s$  = ضغط بخار الماء المشبع للهواء في درجة ٢٠ م (ملم زئبق) .

$e$  = ضغط بخار الماء الحقيقي في الجو (ملم زئبق) .

$U$  = سرعة الرياح على ارتفاع معين .

والمعادلة التالية قد استخرجت تجريبياً لنفس الحالة السابقة وهي عامة المقبول

$$E_a = 0.35 (e_s - e) (0.5 + 0.54U_2) \quad (3.3)$$

حيث تشير  $(U_2)$  إلى سرعة الرياح في الأمتار بالثانية على ارتفاع (2) متر و  $(E_a)$  مقاس بالملمتر في اليوم .

والحالة الثانية هي الشائعة الحدوث ومرة أخرى تأخذ المعادلة الشكل التالي:

$$E_a = C(e_s' - e) f(u) \quad (4.3)$$

وهنا  $e_s' =$  هو ضغط بخار الماء المشبع لطبقة الهواء المحاذية للماء في درجة حرارة  $(t_a)$  والتي هي مختلفة عن درجة حرارة الماء وكذلك الهواء ومن المستحيل قياسها .

وعلى هذا الأساس إن الصيغ والمعادلات التجريبية التي استحدثت على شكل معادلة (2.3) تعمل بصورة معقولة في المناطق التي استحدثت فيها ثوابت المعادلة ولكنها تفقر إلى صيغة العمومية والشمولية .

اشتقت مثل هذه المعادلات إلى منطقة اجسلمر (Ijsselmer) في هولندا والتي تطبق للمنطقة هذه أو للمناطق ذات الظروف المشابهة.

$$E_0 = 0.345 (e_w - e) (1 + 0.25 U_0) \quad (5.3)$$

حيث:

$E_0$  = التبخر من البحيرة في الملمتر في اليوم.

$e_w$  = ضغط بخار الماء المشبع في درجة حرارة  $(t_w)$  لسطح الماء في البحيرة (ملم زئبق).

$e$  = ضغط بخار الماء في الهواء (ملم زئبق).

$U_0$  = سرعة الرياح بالمتر في الثانية مقاس على ارتفاع 6 متر فوق السطح.

### 4.3.3 نظرية بينمن (Penman)

استعملت المصطلحات التالية:

$E_0$  = التبخر من سطح الماء المكشوف (أو ما يكافئه بالطاقة الحرارية).

$e_w$  = ضغط بخار الماء المشبع بالهواء في درجة حرارة سطح الماء  $(t_w)$ .

$e$  = ضغط بخار الماء الفعلي في الهواء في درجة حرارة  $(t)$  ويساوي ضغط بخار الماء المشبع في نقطة الندى  $(t_d)$ .

$e_s$  = ضغط بخار الماء المشبع للهواء في درجة حرارة  $(t)$ .

$e'_s$  = ضغط بخار الماء المشبع بالهواء في درجة حرارة الهواء الملامس لسطح الماء  $(t_s)$ .

$n/D$  = معامل التعطيم = الفعلي / المحتمل من ساعات اشراق الشمس.

$R_A$  = قيمة انكوت (Angot) للاشعاع الشمس الذي يصل الجو.

$R_c$  = إشعاع الشمس والسماء الفعلية المستلمة من قبل الأرض في يوم صحو.

$R_1$  = كمية الاشعاع الصافية الممتصة من قبل السطح بعد الانعكاس.

$R_2$  = الاشعاع من سطح الأرض.

في سنة 1948 قدم بنمن (H.L. Penman) نظرية وصيغة (13) لتخمين التبخر من المعلومات الجوية. تستند النظرية على التقاء مستلزمين لاستمرار عملية التبخر وهما: (1) يجب توفر مصدر للطاقة لكي يمد احارارة الكامنة للتبخر و (2) يجب أن يكون هناك مصدر ميكانيكي لإزاحة بخار الماء حال تكونه.

□ تجهيز الطاقة:

تصل إلى سطح الأرض خلال ساعات النهار كمية معينة بالامكان قياسها من الإشعاع القصيرة الموج (Short wave radiation) وتعتمد هذه الكمية على الارتفاع وفصول السنة اربعة والوقت خلال النهار ودرجة التعقيم. يبين الجدول (1.3) قيم الاشعاع الكلي ( $R_A$ ) المتوقع وصوله إلى نقطة معينة على فرض يعلم وجود أي غيوم والجو صافي وأخذت هذه القيم من عمل انكوت (Angot).

إذا كانت:

$R_c$  = الاشعاع بالتسوجات القصيرة الفعلية الواصلة الى الأرض من الشمس  
والسواء؛ و

$n/D$  = نسبة الحقيقية / المحتمل من ساعات شروق الشمس،

أعطى بنمن

$$R_c = R_A(0.18 + 0.55n/D)$$

لجنوب انكلترا.

واعطى كيمبول (Kimball)

$$R_c = R_A(0.22 + 0.54n/D)$$

لقاطعة فرجينيا - الولايات المتحدة.

جدول (3.3)

قيم التكون (Anger) للاشعاع القصير الموجة  $R_{\alpha}$  في الحد الأقصى من الفناء في  
غرام - سمرة لستيمز مربع لليوم كدالة لأشهر السنة وخط العرض

خط عرض	شبهل كانون (°)	شبهل آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين (°)	كانون (°)	السنة
30°	0	55	518	903	1077	944	605	136	0	0	3540
80	3	143	518	875	1060	930	600	219	0	0	3660
60	86	424	687	866	983	892	714	494	113	55	4850
40	338	663	847	930	1001	941	843	719	397	318	6750
20	631	795	821	914	947	912	887	856	740	599	8070
خط الاستواء	844	878	876	803	803	792	820	891	866	873	8540
20	970	1020	832	737	608	588	680	820	892	986	8070
40	998	963	515	358	308	333	453	648	817	994	6750
60	947	802	459	240	95	50	77	403	920	1033	4850
80	981	649	181	9	0	0	0	113	459	917	3660
90	995	656	92	0	0	0	0	30	447	932	3540

إن الوحدات لـ  $R_{\alpha}$  في النظام العالمي هي جـول/م<sup>2</sup>/يوم. الجدول أصلاه في  
غرام. سمرة/سم<sup>2</sup>/يوم وعامل التحيل هو:  
1 غرام سمرة / سم<sup>2</sup> = 41.9 كيلوجول/م<sup>2</sup>

$$R_C = R_A(0.25 + 0.54n/D)$$

لمنطقة كانتيرا (Canberra) - استراليا.

ومن الممكن للملاحظة فيما لو كانت السماء في أيام كاملة غائمة ( $n/D=0$ ) فإن حوالي 20% من الاشعاع الشمسي يصل الى سطح الأرض في حين في الأيام غير الغائمة (الصحو) حوالي 70% من الإشعاع تصل إلى سطح الأرض.

إن جزء من  $R_C$  ينعكس على شكل موجات قصيرة، ويعتمد هذا الانعكاس على انعكاسية او معامل الانعكاس السطح ( $r$ ).

فإذا كان  $R_I$  = كمية الاشعاع الصافية المتصة، التي تعطى بصيغة تجريبية

$$R_I = R_C (1 - r) = R_A(1 - r)(0.18 + 0.55n/D)$$

ويشع جزء من  $R_I$  من سطح الأرض على شكل موجات طويلة وخصوصاً في الليل عندما يكون الجو جافاً والسماء صافية. ومن الممكن التعبير عن السيل الخارج من الاشعاع ( $R_A$ ) بصيغة تجريبية كالتالي:

$$R_A = \sigma T_a^4(0.47 - 0.077\sqrt{e})(0.20 + 0.80n/D)$$

حيث:

$\sigma$  = ثابت لامار ويرينكشيم (Lummer and Pringsheim) =  $117.74 \times 10^{-9}$  غرام .سعة / سم<sup>2</sup> / يوم .

$T_a$  = درجة الحرارة المطلقة للأرض =  $t_c^0 + 243$ .

$e$  = ضغط بخار الماء المشبع للهواء بالملمتر من الرقيق.

وفي النهاية إن كمية الطاقة الصافية التي تبقى على سطح الماء ( $r=0.06$ ) يعطى كقيمة (H) حيث:

$$\begin{aligned}
H &= R_I - R_B \\
&= R_C - rR_C - R_B \\
&= R_C(1 - r) - R_B \\
&= R_A(0.18 - 0.55n/D)(1 - 0.06) - R_B
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\therefore H &= R_A(0.18 - 0.55n/D)(1 - 0.06) - (117.4 \times 10^{-9}) \\
T_A &= (0.47 - 0.077\sqrt{e})(0.20 + 0.80n/D) \quad (6.3)
\end{aligned}$$

هذه الكمية من الطاقة (الحرارة) تستعمل في أربعة مجالات وبعبارة أخرى

$$H = E_o + K + S + C \quad (7.3)$$

حيث أن:

$E_o$  = كمية الحرارة المتوفرة للتبخر من سطح الماء.

$K$  = كمية الحرارة المتقلة بواسطة الحمل من السطح.

$S$  = زيادة حرارة كتلة الماء (الخزن).

$C$  = زيادة حرارة البيئة (الحرارة السالبة المنتشرة افتقياً).

وخلال فترة من الأيام وتردد ليوم واحد فإن خزين الحرارة قليل بالمقارنة مع التغيرات الأخرى وكذلك بالنسبة للخزين الحراري للبيئة. ولذا من الممكن كتابة المعادلة السابقة على الشكل التالي نسبة خطأ صغيرة.

$$H = E_o + K$$

□ إزاحة البخار:

لقد أوضح بأنه في الإمكان تمثيل التبخر كالتالي:

$$E_o = C(e'_o - e)/(m) \quad (4.3)$$

لكن ليس في الامكان إيجاد قيم لـ  $(e'_o)$  إذا كانت درجة حرارة الهواء والماء مختلفين. افترض ينمن بأن السيطرة على انتقال بخار الماء والحرارة بواسطة الانتشار

الدوام يتم بنفس الطريقة الميكانيكية وبعبارة أخرى الجو المضطرب، فالأول متحكم به  $(e'_s - e)$  والآخر به  $(t'_s - t)$ .

لهذا:

$$\frac{K}{E_0} = \beta = \frac{\gamma(t'_s - t)}{e'_s - e}$$

حيث:

$\gamma$  = ثابت مقياس الرطوبة.

= 0.66 إذا كانت درجة الحرارة بالدرجات المئوية و  $e$  بالملليار.

وبما أن

$$H = E_0 + K = E_0(1 + \beta)$$

$$E_0 = \frac{H}{1 + \beta} = \frac{H}{1 + \gamma \frac{t'_s - t}{e'_s - e}}$$

ويحذف  $(t'_s - t)$  وبالتعميم

بما أن

$$t'_s - t = \frac{e'_s - e_s}{\Delta}$$

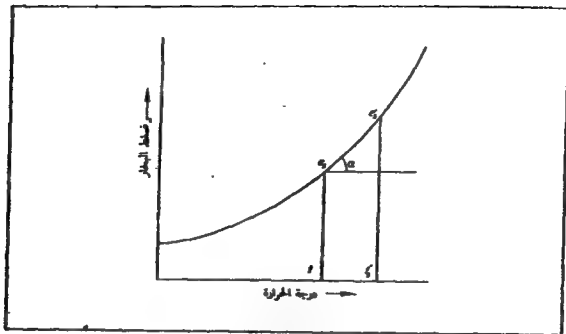
حيث:

$e_s$  = ضغط بخار الماء المشبع في درجة حرارة  $t$ .

$\Delta$  = انحدار منحنى ضغط البخار المشبع في نقطة  $t$  ومساوي  $(\tan \alpha)$ . انظر

شكل (1.3) وهذا التقريب معقول طالما كانت  $t'_s$  قريبة جداً من  $t$ .





الشكل (1.3)  
منحنى ضغط البخار المشبع

إذن

$$E_a = \frac{H}{1 + \frac{\gamma}{\Delta} \cdot \frac{e'_s - e_s}{e'_s - e}} \quad (9.3)$$

والآن يجب حذف  $e_s$ :

وعما أن:

$$e'_s - e_s = (e'_s - e) - (e_s - e)$$

ومن المعادلة (2.3)

$$E_a = C f(u) (e_s - e)$$

ومن المعادلة (4.3)

$$E_a = C f(u) (e'_s - e)$$

$$\therefore \frac{E_a}{E_a} = \frac{e_s - e}{e'_s - e} \quad (11.3)$$

حيث أن:

$E_a$  = التبخر (وحدات الطاقة) بافتراض درجة حرارة الهواء والماء متساويتان.

وبتمويض قيم المعادلتين (10.3) و (11.3) بالمعادلة (9.3) نحصل على:

$$E_a = \frac{H}{1 + \frac{\gamma}{\Delta} \left[ \frac{(e'_s - e) - (e_s - e)}{e'_s - e} \right]}$$

$$E_a = \frac{H}{1 + \frac{\gamma}{\Delta} \left( 1 - \frac{E_a}{E_s} \right)}$$

ومنها:

$$E_a = \frac{\Delta H + \gamma E_s}{\Delta + \gamma} \quad (12.3)$$

لـ  $(\Delta)$  قيم استخرجت من منحني ضغط البخار المشبع كما يلي:

$t = 0^\circ\text{C}$	$\Delta = 0.36$
10	0.61
20	1.07
30	1.80

بالرجوع إلى المعادلتين (3.3) و (6.3) لقيم  $E_a$  و  $H$  على التوالي فمن الممكن ملاحظة أن  $(E_a)$  تقاس من الملاحظات الجوية القياسية لمعدل درجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية وسرعة الرياح على ارتفاع قياسي وساعات شروق الشمس. ولقد فحصت هذه المعادلة الرياضية في عدد من المواقع المختلفة وأعطت نتائج جيدة جداً واستناداً إلى المبادئ الفيزيائية فإنها تطبيق علم وتعطي قيماً معينة ومن الممكن استخدامها في دراسات المشاريع لحين توفر معلومات حقيقية عن التبخر (انظر (6.3)).

ولغرض تقليل الجهد المصروف على الحسابات عند حل معادلة بينمن صمم بيجكورت (P.J. Pijkort) من المعهد الملكي للأنواء الجوية في هولندا مخططاً بيانياً

والذي بواسطته عمل حسابات سريعة. إن هذا المخطط قد استسخ في نهاية الكتاب بعد موافقة المصمم. إن هذا المخطط قد رسم لقيمة  $R_c$  تختلف قليلاً عن القيمة التي استعملها بينمن

$$R_c = R_A(0.20 + 0.48n/D)$$

عوضاً عن

$$R_c = R_A(0.18 + 0.55n/D)$$

لكن أي فرق قد يحدث من جراء هذا سيكون أصغر من الخطأ المحتمل في تقدير غطاء الغيوم ومن الممكن إهماله. إن قيم ( $R_A$ ) لأي خط عرض من الممكن استخراجها من الجدول (1.3).

#### 4.3 التبخر من سطح الأرض باستعمال قيمة $E_0$ لبنمن:

بين بنمن في بحثه الأصلي عن تجارب أجريت على الترب المغطاة بالأعشاب (Turfed soils) والترب الجرداء وذلك لإيجاد وسيلة لمقارنة معدلات التبخر من هذه الترب ( $E_T, E_B$ ) مع التبخر من سطح الماء ( $E_0$ ). واستنتج بأن معدلات التبخر من سطح التربة الجرداء المبللة توافي حوالي 90% من معدلات التبخر من سطح الماء تحت نفس الظروف الجوية. أو

$$E_B/E_0 = 0.90$$

أما للسطوح المغطاة بالأعشاب فإن المقارنة كانت أكثر تعقيداً واعطى بنمن الأرقام التالية للترب المكسوة بالأعشاب مع توفر الماء وهي:

قيم  $E_T/E_0$  لجنوب انكلترا

0.6 تشرين الثاني – شباط

0.7 { آذار – نيسان  
أيلول – تشرين الأول

أبار - آب	0.8
للسنة ككل	0.75

وتلك الأرقام جميعها أقل من واحد بسبب الانعكاس من النبات أكثر من سطح الماء وكذلك بسبب التتح من النباتات يتوقف عملياً أثناء الليل.

### 5.3 معادلة ثورنتوايث (Thornthwaite) للتبخر - نتح :

أجرى من. دبليو ثورنتوايث (C.W. Thornthwaite) عدد من التجارب في الولايات المتحدة الأمريكية استعمل فيها الليزوميتر (Lysimeter) ودرس بصورة شاملة العلاقة بين درجة الحرارة والتبخر-التتح. وقد ابتكر من عمله هذا طريقة لتخمين كمية التبخر-التتح الكامنة (14) لنباتات قصيرة الطول، مع تمييز كمية ماء مناسبة في الولايات المتحدة.

إذا كانت  $t_n$  - المعدل الشهري للدرجات الحرارة لأشهر السنة المتتالية في الدرجات المثوية (n=1,2,3,...,12) و  $J$  = المؤشر الحراري الشهري (Monthly heat index فإن

$$J = \left( \frac{t_n}{5} \right)^{1.514} \quad (13.3)$$

والمؤشر الحراري السنوي  $J$  هو

$$J = \sum_{n=1}^{12} j \quad (\text{لأنتي عشر شهر}) \quad (14.3)$$

أما كمية التبخر - نتح الكامنة لأي شهر ذو معدل درجة حرارة شهرية (t) بالدرجات المثوية فيعطى بـ (PE<sub>x</sub>)

$$PE_x = 16 \left( \frac{10t}{J} \right)^n \quad \text{ملم / الشهر} \quad (15.3)$$

حيث

$$n = (575 - 10t)J^2 - (771 \times 10^{-7})J^2 + (179 \times 10^{-4})J + 0.492 \quad (16.3)$$

إن  $(PE_z)$  هي قيمة شهرية نظرية على أساس 30 يوماً و 12 ساعة شروق لكل يوم. إن القيمة الفعلية  $PE$  لشهر معين بمعدل درجة حرارة  $t^\circ$  هو

$$PE = PE_z \frac{I T}{360} \text{ mm} \quad (17.3)$$

حيث:

$D$  = عدد أيام الشهر.

$T$  = معدل عدد الساعات بين شروق الشمس وغروبها في النهار.

جريت هذه الطريقة من قبل سيرا (Serra) حيث اقترح تبسيط المعادلتين (13.3) و (16.3) كما يلي:

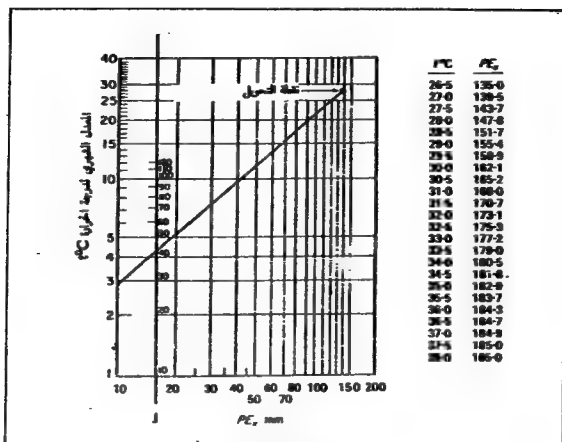
$$J = 0.09 t_n^{2.2} \quad (18.3)$$

$$a = 0.016J + 0.5 \quad (19.3)$$

إن هذه الطريقة لتقدير التبخر - التتح الكامن هي طريقة تقريبية ومعقدة وتحتاج استعمال مخطط بياني لحلها. وقد نشر ثورنتون هذا المخطط البياني والمستخ في الشكل (2.3).

الخطوة الأولى هو إيجاد قيمة مؤشر الحرارة  $J$  ومن المخطط البياني في الشكل (2.3) نحصل على قيمة التبخر - التتح الكامن غير المعدلة وذلك برسم خط مستقيم من قيمة  $K$  وخلال نقطة التقاء في  $t = 26.5^\circ C$  (إذا كانت  $t^\circ$  أكبر من  $26.5^\circ C$  استعمال الجدول المرفق في الشكل (2.3)). من الممكن قراءة  $PE_z$  للشهر المقابلة لمعدل درجة الحرارة المعلومة. ويمكن الحصول على اثني عشر قراءة لاثني عشر شهراً. وهذه القيم غير المعدلة من الممكن تعديلها بواسطة المعادلة (17.3) لطول اليوم وعدد أيام الشهر. ومجموع هذه القراءات تعطي التبخر - التتح الكامن السنوي.

لقد وجد بأن هذه الطريقة تعطي نتائج معقدة وجيدة أينما كان هناك غطاء نباتي ولو أن اختلاف أنواع النباتات سيؤثر على القيمة الحقيقية للموقع المميز.



الشكل (2.3)

خط وجول لايجاد التبخر - السطح الكلي  $PE_{\Sigma}$

تعتمد المعادلة على درجات الحرارة وهذا لا يعني بالضرورة أن هناك تطابق مباشر مع الاشعاع الشمسي الداخل مباشرة وذلك بسبب القصور الذاتي الحراري (Heat inertia) للأرض والماء. يعتمد السطح عادة على الاشعاع الشمسي وعلى هذا الأساس من الواجب أخذ الحظر عند استعمال هذه الطريقة والتأكد بأن جميع الظروف لا تتغير بصورة مفاجئة خلال الشهر المعين. وإذا ما استعملت الأعداد لعدة أشهر متعاقبة فإن مجموع الفروق يمكن إهماله.

إن هذه الطريقة مفيدة ومكملة لطريقة بينمن وخاصة في دراسات الشوارع.

### 6.3 القياسات المباشرة للتبخر بواسطة الأحواض (Pans) :

يجب أخذ القياسات والملاحظات المباشرة عن التبخر كلما أمكن. إن الجهاز الذي يستعمل لهذا الغرض هو حوض التبخر (Evaporation pan). إن الحوض القياسي في بريطانيا هو مربع طول ضلعه 1.83 متر (6 قدم) وعمقه 610 ملمتر (2 قدم) ويلاً بالماء بعمق 550 ملم (قدم) و 9 أنجالت) ويوضع داخل الأرض على أن تكون حافة الحوض العليا مرتفعة عن سطح الأرض المجاور بـ 76 ملمتر (3 أنجالت) وتؤخذ قراءات بصورة منتظمة عن التبخر بواسطة هذا الحوض من 30 محطة منتشرة في بريطانيا.

أما في الولايات المتحدة فإن الحوض القياسي أو (Class A) هو دائري الشكل ويقطر 1.22 متر (4 قدم) وعمق 245 ملمتر (10 أنجالت) يلاً إلى ارتفاع 180 ملمتراً (6 أنجالت) ويوضع على شبكة خشبية لترتفع القاعدة السفلى للحوض بـ 150 ملم (6 أنجالت) عن سطح أرض. وتؤخذ قراءات بصورة منتظمة في أكثر من 400 موقع.

والنوع الثالث والذي يستعمل أحياناً في المملكة المتحدة هو حوض بيريرا (Peirera pan) وهو دائري الشكل مثل الحوض الأمريكي لكنه أعمق ويغرس في الأرض مع وجود فراغ 3 أنجالت حوله. إن مدى درجات الحرارة اليومية في الحوض الأمريكي أكبر من الحوض المربع لكنه عادة يكون متجانساً بينما يكون الماء في الحوض المربع على شكل طبقات. إن مضاعفة سرعة الرياح قد يزيد من مقدار التبخر إلى 20%.

بمقارنة الحجم الصغير والعمق الضحل لأحواض التبخر مع الحجم الكبير للبحيرات أو الأنهار وكذلك مواقعها عند أو قرب سطح الأرض سيسمح تناسباً لكميات أكبر من حرارة الجولكي تمتص بواسطة الماء الذي في الأحواض خلال الجوانب والقعر مما هو في حوض الماء الطبيعي وكذلك مختلفة باختلاف أشكال ومواقع الأحواض نفسها. لذلك فإن كمية التبخر من هذه الأحواض يكون نسبياً أكبر ومن الضروري استعمال معامل للتبخر بخاصة. تتراوح قيم هذه المعامل من 0.65 إلى أكبر من واحد معتمدة على أبعاد الحوض وموقعه. وبصورة عامة فإن معامل الحوض القياسي البريطاني هو 0.92 تقريباً ومعامل حوض دائرة الأنواء الجوية الأمريكية (Class A) هو حوالي 0.75 وقد تكون اختلافات كبيرة ضمن هذه المعامل.

أجري لو (Law) (16) دراسات مقارنة خلال 14 سنة في موقعين في يوركشاير ووجد بأن نسبة التبخر من الحوض الأمريكي (Class A) إلى التبخر من الحوض المربع البريطاني يتراوح بين 1.17 إلى 1.40 أي بمعدل 1.32. وقد أعطى هوك (Houk) (17) حساباً كاملاً للقيم أميركية معروفة وأعطى أوليفر (Oliver) (18) عدة معلومات من مصادر أجنبية ومن الشرق الأوسط.

هناك مصاعب في استعمال الأحواض للقياس المباشر للتبخر، مبتدئاً من الصعوبة في قياس الاختلافات الصغيرة في الارتمضاعات والاستعمال اللاحق للمعاملات التي تربط القياسات مع الخزانات الصغيرة والأحواض المائية الكبيرة. ومع ذلك يجب أن تشكل القياسات المحلية الحقيقية جزءاً مهماً من أي مشروع دراسات التبخر.

### 7.3 المقتن المائي: (Consumptive Use)

استعمال اصطلاح التبخر - نتج للتعبير عن تبخر الرطوبة من سطح الأرض متضمنة البحيرات والجداول والغطاء النباتي الذي قد يكسو الأرض. إن المقتن المائي يعزى إلى التبخر والنتح من الغطاء النباتي الذي يكسو الأرض فقط وكثيراً لما يتعلق بالزراعة والبسة وضمن احتياجات الري وعادة ما تستعمل هذه المصطلحات بالتبادل.

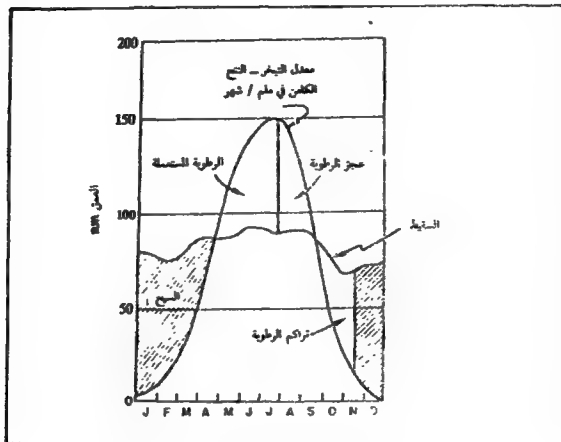
إن المقتن المائي لمساحة معينة يعتمد على عدة عوامل منها الطقس وتجهيز رطوبة التربة وزراعة النباتات وأنواع التربة وطريقة إدارة الأرض. وتتضمن العوامل المناخية السقوط ودرجة الحرارة والرطوبة والرياح وخط العرض (الذي يؤثر على طول فصل الإنبات) ويعتمد تجهيز رطوبة التربة على الطبوغرافية والانسياب داخل الأرض وكذلك على السقوط وتختلف نوع التربة وإدارة الأرض بصورة كبيرة على مسافات قصيرة. لا توجد صيغ عامة نافذة المقبول لكن هناك عدة معادلات تقريبية ربما يمكن استعمالها مع معامل على لإيجاد احتياج الماء السنوي في أي مكان بقود محدودة معينة.

### 7.3.1 المحاصيل المزروعة: (Arable Crops)

يعزى المقتن المائي إلى الماء الحقيقي الذي يستعمل بينما تعطي معادلات التبخر - النتح كمية الماء الكامنة.



يبين الشكل (3.3) بأنه لكان معين وما لم يكن هناك سقوط مطر عند الحاجة واحتمال وجود عجز كبير في الماء خلال فصل الإنبات ورغم وجود كمية إمتار كبيرة. في مثل هذه الحالة سيكون المقنن المائي المستعمل أقل من التبخر - نتج الكامن وهناك حاجة كبيرة للري خلال هذا الفصل.



الشكل (3.3)

مخطط نموذجي للمعيز السنوي في رطوبة التربة

- إن القياسات الحقيقية للمقنن المائي قد تكون صعبة وبطيئة وربما تكون باهظة الثمن. قد أجريت عدة من هذه التجارب في الولايات المتحدة ومن الممكن تطبيق تلك النتائج على مناطق أخرى باستعمال طريقة استحدثت بواسطة قسم الري وحفظ التربة في قسم الزراعة الأبرشي (20) والتي ربطت المعلومات المتوفرة حالياً عن المقنن المائي مع طريقة الإدارة الاقتصادية وندة ساعات النهار بحلول فصل الإنبات والسقوط. وقد حدثت لتغير المقنن في المناطق الأخرى التي تتوفر فيها المعلومات المتأخرة

إن العوامل الأربع التي سبق ذكرها يكون لها تأثير أساسي وهي بصورة عامة متوفرة من الملاحظات الميتورولوجية القياسية والطريقة كالآتي:

1 - جدول معدل درجة الحرارة الشهري لكل شهر بالدرجات المئوية  $^{\circ}\text{C}$  (t).

2 - إيجاد النسب الشهرية لساعات النهار السنوية P.

3 - ضرب (t) في (P) لكل شهر للحصول على عامل المقتن المائي الشهري (f)

$$f = (46t + 813) p$$

وقد فرض بأن المقتن المائي يتغير بصورة طردية مع هذا العامل إذا توفر متسع من تجهيز الماء.

4 - ضرب (f) في K (معامل المقتن المائي الشهري) للحصول على المقتن المائي الشهري بالمليمترات.

$$u = kf$$

والمعادلة المماثلة لفصل الانبات ككل هي:

$$U = KF = \sum kf$$

حيث أن

$U$  = المقتن المائي للمحصول بالمليمترات.

$K$  = معامل المقتن المائي التجريبي الفصلي.

$F$  = المجموع الشهري لعوامل.

يعطي الجدول (2.3) قيم لـ (k) والتي اقترحت من قبل بليني (Blancy) للولايات المتحدة وفي مناقشة البحث (21) من قبل بليني، اقترح بأن ينخفض المعامل الفصلي K بحوالي 10% للمناطق الرطبة. وأشار هوك (Houk) (17) إلى وجود درجة احتياج قصوى لكل محصول من الماء، وإن تجهيز الماء إلى ما يزيد عن هذه الدرجة

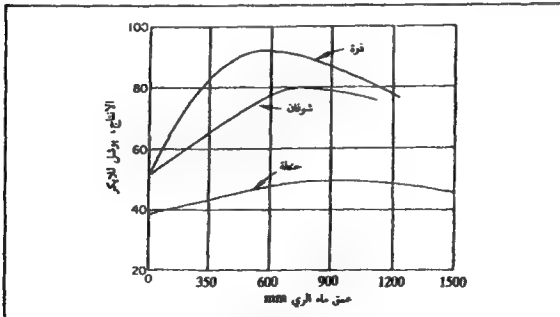
### جدول (2.3)

امثلة على معاملات المقتات المائية (k) لمحاصيل مبنية على قياسات للتبخر - السح  
ودرجات الحرارة

Location	Crop	Mar.	April	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.
Arizona	Alfalfa	0.74	0.84	0.91	1.10	1.30	—	0.90	0.75	0.75
	Cotton	—	0.30	0.40	0.60	0.80	0.80	0.70	0.60	—
	Soy beans	—	—	—	0.35	0.60	0.90	0.80	0.50	—
	Gar	—	—	—	—	0.30	0.80	0.90	0.55	—
	Grapes	0.55	0.65	0.65	0.70	0.70	0.75	0.70	0.70	0.65
	Oranges	0.55	0.56	0.56	0.58	0.58	0.61	0.61	0.61	0.60
California	Alfalfa	—	0.70	0.80	0.80	0.90	0.90	0.90	0.80	0.70
	Lemons	—	0.40	0.40	0.50	0.50	0.55	0.60	0.50	0.40
	Oranges	—	0.50	0.50	0.55	0.60	0.60	0.60	0.50	0.50
	Pears	—	0.50	0.60	0.65	0.95	0.90	0.60	—	—
	Tomatoes	—	—	—	0.45	0.60	0.70	0.80	0.70	—

يؤدي إلى خفض الانتاج. وبالمكان وضع خطوط عريضة عامة فقط وذلك بسبب أن  
الفروق بين تركيب التربة وخصوبتها يؤثران في مقدار الدرجة لنفس المحصول  
ولظروف مختلفة.

إن الشكل (4.3) يوضح علاقة نموذجية بين كمية الماء والانتاج لولاية يوتا في  
الولايات المتحدة من هاريز (Harris) (22) والجدول (3.3) يوضح تراوح الاختلاف في  
احتياج الماء لمحاصيل مختلفة ولحالة معينة والتي استستخت من تقرير فورتيير  
(23) (Fortier).



الشكل (4.3)

العلاقة بين الماء - الانتاج للمحاصيل

### جدول (3.3)

التغير في احتياجات الماء لمحاصيل منطقة حوض نهرى (Missouri و Arkansas)

Crop	No. of tests	Range in water requirements mm.	Crop	No. of tests	Range in water requirements mm.
Forage, inc. alfalfa	648	390-800	Apples	4	600-795
Barley	335	405-535	Broom	4	385-480
Oats	489	410-530	Buckwheat	3	320-395
Wheat	542	415-530	Cantaloupes	10	435-595
Corn	78	375-560	Pean	100	415-590
Soda corn	15	435-480	Potatoes	320	420-520
Flax	56	450-565	Sugar beets	130	480-765
Millet	14	245-285	Sunflower	16	365-425
Maize maize	27	335-520	Tomatoes	6	600-855
Sorghum	26	325-430	Cucumbers	7	530-1140

ومعلومات أكثر دقة وذات صلة بالموضوع يجب الرجوع إلى النشرات الفنية لنظم الزراعة الأمريكية والتي تحتوي على معلومات كثيرة جداً من الاختبارات المحلية للمقنن المائي وكذلك للمراجع (18,17).

### 2.7.3 النهاية:

من الصعب جداً عمل قياسات للمقنن المائي للمناخ وتوجد مؤلفات قليلة حول الموضوع. نفلد لو (Law) (16) خطة عمل مبرمجة على المقنن المائي لزراعة (Sika Spruce) قرب سليديرون، يوركشاير لحصص عشرة سنة وقد لحصت النتائج من قبل المؤلف كما ميين أبحاثه وقد قيست المعدلات السنوية لأربع عشرة سنة (1966-1969) على لازومتر مزروع بمساحة 450 متر مربع يحتوي على (21) شجرة (95-74) شجرة (21) شجرة قطعت في منتصف الفترة).

استدل لو (Law) من تلك التجربة استنتاجات عامة:

- (أ) تنجح الأشجار تقريباً نفس الكميات التي تنجحها الأعشاب.
- (ب) تتعرض الأشجار الصنوبرية ثلث كمية المطر وتفقد بالتالي بواسطة التبخر هذا بالإضافة إلى الفقدان بواسطة التساقط.
- (ج) تتعرض الصنوبريات إلى حد 3 ملم من المطر في أي وقت (ولا توضح دلائل بأن الأشجار المتفضية لا تختلف كثيراً).
- (د) إن تبخر المطر المعرض في الغابات الصنوبرية لا يختلف بشكل ملحوظ

القيمة السنوية		
%	ملم	
	1492	1 - معدل المطر من ثلاثة مقاييس خارج المنطقة
		2 - معدل المطر المضمن على اليزوميتر (مبنى على
100%	1363	3 مقاييس في قسم الأشجار).
68%	923	3 - المطر النافذ.
32%	440	4 - المطر المحصور (2)-(3).
39%	535	5 - الماء الجاري من اليزوميتر
1%	828	6 - الفقدان الكلي (2)-(5)
		7 - الفقدان الصافي بدون (3)-(5) و (4)-(6) بمعنى
29%	388	آخر التبع وهذا منسجم مع المقاس في محطة أنواء
		قرية.
		8 - التبخر من حوض مساحة 1.83 متر مربع معدل
	507	من حوضين متجاورين.
		9 - الفقدان من الواح متجاورة مغطاة بالأعشاب
	410	(مقاسة بواسطة مقياس النفاذية).
		10 - التبخر المحسوب من معادلة بنمن معدل
	511	حساب لمنطقتين.

من الصيف إلى الشتاء وذلك بسبب أن تأثير الرياح لها أهمية أكثر من درجة حرارة الجو عندما تتوفر مساحة سطح تجهيز كافية.

(هـ) الجريان السطحي عن المزرعة كان حوالي 5% من المطر النافذ. تجري في المملكة المتحدة تجارب مكثمة من قبل معهد الهيدرولوجي على منخفض بيلانليمون (Plynlimon) والتي ستضيف معرفة إضافية إلى المثلث المائي للتنبات.



## الرشح

## Infiltration and Percolation

## 1.4 سعة الرشح للتربة:

(Infiltration Capacity of Soil)

عندما يسقط المطر فإنه يمل في أول الأمر النباتات أو التربة الجرداء وعندما يصبح السطح مبللاً تماماً فإن المطر المتعاقب يجب أن يخترق الطبقات السطحية إذا كان السطح منفذاً (Permeable) أو يجري على السطح باتجاه الجداول إذا كان غير منفذاً (Impereable). إذا كانت الطبقات السطحية مسامية ولها مسالك دقيقة تسمح بمرور القطرات المائية فإن الماء يترشح إلى داخل الطبقات التراية. إن التربة التي تنمو عليها النباتات تكون دائماً منفذة إلى بعض الحدود. وطالما مرت المياه المرتشحة خلال الطبقات السطحية فإنها سترشح إلى الأسفل تحت تأثير الجاذبية الأرضية إلى أن تصل إلى منطقة التشبع عند المستوى المائي. إن الأنواع المختلفة من التربة تسمح للماء بالرشح بمعدلات مختلفة. فلكل نوع من التربة سعة رشح مختلفة (1) مقاسة بالملمترات في الساعة (أو الأنجاس في الساعة). من الممكن التصور على سبيل المثال بأن المطر المتساقط على تربة مكونة من الحصى أو تربة رملية سترشح بصورة سريعة وحتى الأمطار الشديدة سوف لا تولد سيحاً سطحيّاً بشرط كون

المستوى المالي تحت سطح الأرض. وبالمثل فإن الترب العظيمة ستقوم الرشح وسيكون السطح مغطى بالمياه حتى عند سقوط أمطار خفيفة. إن كثافة المطر (1) تؤثر بجلاء على كمية المطر المرشحة والكمية المناسبة على السطح.

## 2.4 العوامل المؤثرة على $f_r$ :

إن (Nash) و (Wilson) (24) قد قلما منذ وقت قريب بإجراء دراسات شاملة لعملية الرشح مستعملين مستجماً عتبرياً قابلاً للوزن بمساحة 25 متراً مربعاً. وقد استنتجوا بأن معدل الرشح للأبي تربة تحت تأثير مطر ثابت الشدة يتناقص ولذاً للمعادلة التالية التي استعملت أول مرة من قبل (Horton) (25)

$$f = f_c + \mu e^{-Kt} \quad (1.4)$$

حيث أن:

$f$  = معدل الرشح في أي وقت (1) مقاساً باللمتر في الساعة.

$f_c$  = سعة الرشح لفهية كبيرة من (1) (ملم / ساعة).

$\mu$  = سعة الرشح الابتدائية عندما يكون (1) مساوياً إلى الصفر (ملم / ساعة).

$$\mu = f_0 - f_c$$

$t$  = الزمن مقاس من بدء المطر (دقيقة).

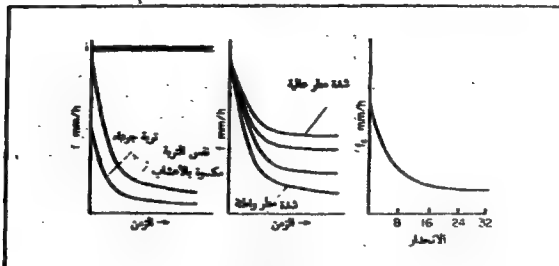
$K$  = ثابت يعتمد على نوع التربة والسطح (1 / دقيقة).

إن الثابت (K) هو دالة تركيب السطح أي عند وجود الغطاء النباتي فإن قيمة (K) ستكون صغيرة بينما للسطح ذو التركيب الناعم الأملس مثل التربة الجرداء سيكون أكبر. إن (1) و (2) هما دالتان لنوع التربة والغطاء. فعلى سبيل المثال إن التربة الرملية أو المحصورة الجرداء سيكون لها قيم عالية لـ (1) و (2) وللترب الطينية الجرداء ستكون قيم (1) و (2) منخفضة لكن كلتا القيمتين ستزداد لكلتا التريبتين إذا زرعنا بالأعشاب. إن (3) هي دالة للاتحداد صعوداً إلى قيمة محدودة للاتحداد (تغير من 16% إلى 24%) وعندما سيكون الاختلاف قليلاً. إن (4) هي دالة للمحتوى المالي الابتدائي للتربة فكلما كانت التربة أكثر جفافاً في البداية لزداد مقدار (4) ولكن الاختلاف قد يكون بالمقارنة صغيراً. إن (5) هي دالة لشدة المطر فإذا ما ازدادت شدة



(١) قيم  $(f_c)$ . إن لهذا العامل تأثير كبير على قيمة  $(f_c)$  أكثر من أي متغير آخر.

إن هذه العلاقات موضحة في الشكل (1.4) لتربة زراعية نموذجية وفي



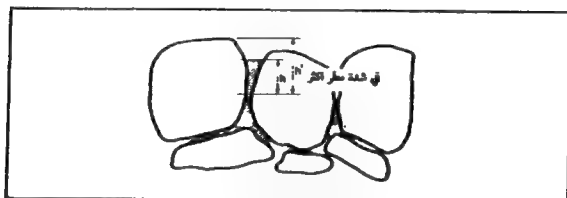
الشكل (1.4)  
التأثير في سعة الرش

الجدول (1.4) يبين لبعض القيم النموذجية لـ  $(K)$  و  $(f_c)$  و  $(f_h)$  لأنواع مختلفة من التربة. إن العاملين  $(K)$  و  $(f_h)$  هما ثابتان نسبياً للنوع الواحد من التربة ولا يتغيران بصورة ملحوظة مع انحدار الجابية أو شدة المطر أما  $(f_c)$  فيتغير بصورة واسعة مع الاثنين ولذلك يظهر في الجدول كقيم غير محدودة.

إلى وقت قريب كان التفكير العام بأن قيمة  $(f_c)$  هي ثابتة للنوع الواحد من التربة ولكن ظهر بأنه غير صحيح. يظهر أن معدل الرش عند حدود بصورة أساسية بالمسامات السطحية. وإن الزيادة الصغيرة في الشحنة الهيدروستاتيكية (Hydrostatic head) فوق هذا السام يؤدي إلى سرعة الجريان خلال سطح التربة. فإذا ما تصورنا الطبقة السطحية كما هي مبينة في الشكل (2.4) حيث تظهر جزيئات تربة السطح فإن العامل المؤثر هو الشحنة  $(h)$  على أصغر المقاطع العرضية للسام. يستمر هذا في الازدياد مع زيادة شدة المطر حتى الوصول إلى قيمة محدودة حيث يمنع الجريان السطحي أي زيادة أخرى. وكما يبدو بشكل غير محتمل أنه ظرف محدد غالباً ما يحدث في الظروف الطبيعية.

جدول (1.4)  
قيم نموذجية لـ (K) و (k<sub>z</sub>) و (k<sub>h</sub>) لأنواع مختلفة من الترب

نوع التربة	k <sub>h</sub> ملم / ساعة	k <sub>z</sub> ملم / ساعة	K دقيقة <sup>-1</sup>
زراعية قليلة جرداء	280	6-220	1.6
مكسوة بالأعشاب	900	20-290	0.8
حش (Peat)	325	2-20	1.8
رملية طينية جرداء	210	2-25	2.00
ناعمة مكسوة بالأعشاب	670	10-30	1.40



الشكل (2.4)  
الشحة الهيدروليكي في فجوة فرة تربة

إن باحثين سابقين (26) قد وجدوا نتائج مماثلة وقد عزت الزيادة في (k<sub>h</sub>) في حالة ازدياد شدة المطر إلى فقدان التجانس في المستجمع التجريبي. وقد أكد باحثون آخرون على الأهمية القصوى للطبقات السطحية من التربة (27). إن معدل الرشع للتربة هو مجموع الرشع وخزن المياه الداخلة فوق مستوى المياه الأرضية. وعلى العموم فإن التربة هي بعيدة عن التشبع ولهذا فإن الخزن يستمر في الازدياد لفترة طويلة وهكذا (k<sub>h</sub>) يواصل بالانخفاض تحت مطر ذي شدة مستقرة لفترات طويلة نسبياً.

(\*) حش (Peat) نسيج ناعم متضخم يتكون بتحلل النباتات محلاً جزئياً في اللاه.

يحدث بأن الطرق الكيفية المفصلة في الأجزاء التالية والتي لغرض السهولة تعزو متوسط قيمة الفقدان من المطر إلى الجافية لإيجاد كمية المطر الصافي هي مبسطة للغاية وخاصة خلال الأمطار الميكرة.

إن التربة الجرداء السطح قد تصبح غير نافذة تقريباً بسبب الانضغاط الناتج عن تصادم القطرات الكبيرة مقرونة بمحاولة دفع الجزيئات الدقيقة إلى داخل الفجوات. كهذا السطح لهذا السبب يتجه أن يصبح أصم وتبسط قيمة ( $f_e$ ) بصورة حادة. وبالمثل فإن الانضغاط الناتج من قبل الإنسان أو الحيوانات التي تغطي السطح وكذلك سير المركبات قد يقلل من سعة الرشع بشدة.

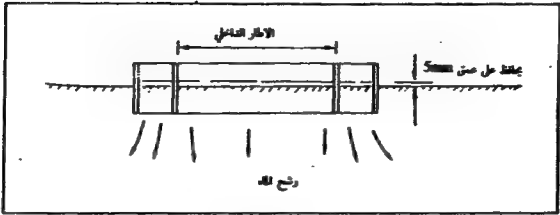
إن الغطاء النباتي الكثيف مثل الحشائش أو الغابات يعمل على زيادة قيم ( $f_e$ ). إن شبكة الجذور الكثيفة تعمل على توفير مداخل إلى الطبقة الترايبية الواقعة تحت سطح الأرض مباشرة. إن طبقة المخلفات العضوية والمشكلة سطحاً شبيهاً بالاستفج وفتحات جحور الحيوانات ومسالك الحشرات إلى داخل التربة والغطاء المانع للضغط وتنتج النباتات الذي يزيل رطوبة التربة. كل هذه تعمل على مساعدة عملية الرشع.

إن الوقائع الأخرى التي تؤثر في المسألة بصورة عرضية هي طرح الصقيع (Frost heave) وغسل التربة من الأملاح القابلة للذوبان بالماء وتشققات التربة نتيجة الجفاف والتي تزيد من مقدار ( $f_e$ ) واحتباس الهواء المحصور في التربة والذي يقلل من قيمة ( $f_e$ ). ولدرجة الحرارة بعض التأثير طالما كان سير الماء بين فراغات التربة طباقياً (Laminar) وبالتالي وللزوجة (Viscosity) تأثير مباشر في المقاومة للجريان. فلذا ما ثبتت العوامل الأخرى فإن قيم ( $f_e$ ) و ( $f_e$ ) ستزداد في الفصول الباردة من السنة.

### 3.4 طرق إيجاد سعة الرشع :

#### 1.3.4 مقياس الرشع : (Inflometer)

إن مقياس الرشع هو أنبوب قصير واسع القطر أو أي حد غير منفذ للمياه يحيط بمساحة معينة من التربة وعادة تستعمل حلقتان متمركزتان كما موضح في الشكل (3.4) تنمر هذه الحلقتان إلى عمق 5 ملم فوق السطح بالماء وتمد بالمياه بصورة مستمرة لإبقاء هذا العمق ثابتاً وبحسب الجريان في الأنبوب المركزي (الأوسط). والفرض من الأنبوب الخارجي هو لإزالة (إلى حد ما) تأثير الحواف المجاورة للتربة المحيطة.



الشكل (3.4)  
مقياس الرش

تعطي مثل هذه التجارب نتائج نسبية مفيدة لكنها لا تحاكي الظروف الحقيقية لهذا فقد استبدلت بصورة واسعة بتجارب الرش (Springlers) على مساحات أكبر. وهنا يشابه الرش بالرشاشات المطر حيث يجمع الجريان السطحي من المساحة وتحسب كمية المياه المغطاة (الداخلية إلى المساحة) أما الفرق بين الكميتين فيفترض أن تكون قد رشت إلى داخل التربة.

بينما إن الرشاشات المشابهة للمطري أكثر واقعية من الحلقات المغمورة لكن هناك بعض التحديدات للوثوق بالنتائج المستخلصة والتي عادة تعطي قيم أكبر لـ (f) عنها في الظروف الطبيعية. إن هذه الطرق بسيطة وفعالة بالنسبة للتأثيرات النوعية مثل المقارنة بين الظروف المختلفة للخطأ النبلي، أنواع التربة وغيرها.

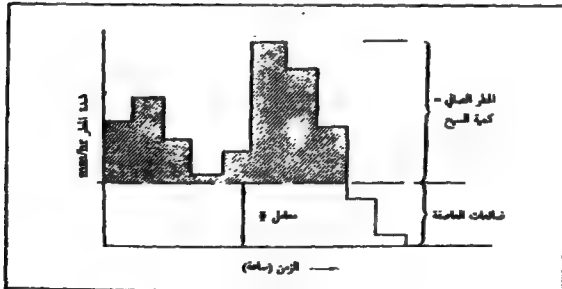
من الممكن الحصول على نتائج رصينة ومكررة باستعمال مستجمعات غشبية مع مقلدات المطر حيث يكون كمية وسمك التربة مماثلة بصورة وافية كما في الطبيعة. لقد استعمل ناصيف (Nassif) وولسن (Wilson) (24) سبعة أطنان من التربة بطبقة سمكها 200 ملم وقاما بقياس كمية المياه الداخلة والخارجة وكذلك التغير في الخزن. إن مثل هذه المعدات التي استعملها تعطي نتائج مقارنة جيدة وربما نتائج مطلقة للرشح لكن لا يزال هناك عدم وجود التشابه المطبق مع الظروف الطبيعية حيث أن هناك ضغط جوي اعتيادي تحت طبقة التربة المختبرية بينما لا يوجد مثل هذا الضغط في الطبيعة.

### 2.3.4 تحليل المطر - الجريان السطحي في الجابية:

حاول عدد من الباحثين تحسين طريقة قياس الرشح بواسطة الرش باختيار جابية (Drainage Basin) صغيرة متجانسة وقياس كمية المطر (التساقط) والتبخر والمياه الخارجة كميًا جارية سطحية بعناية. وعند تخمين كل العوامل الأخرى عدا الرشح فمن الممكن استخراج معدل قيمة (f) لثل هذا الحوض بالطرق المقدمة من هورتون (Horton) (28) وشيرمان (Sherman) (29) وتبقى الصعوبة في ضمان عدم وجود أي مياه باطنية خارجة غير مسجلة أو اختلاف في الخزن المائي الباطني. وعلى الرغم من أن نتائج كمية قد استخرجت لكن عملية تحليل المعلومات معقدة وحدود الخطأ واسع.

### 3.3.4 طريقة معامل Ø:

في الإمكان - من الناحية العملية - استخراج معامل الرشح التي تجعل عمل تقديرات تقريبية معقولة لفقدان الرشح. إحدى هذه الطرق هي طريقة معامل Ø والتي تعرف بأنها معدل شد المطر التي فوقها يكون حجم المطر مساوياً لحجم الجريان السطحي. يبين الشكل (4.4) عاصفة مطرية مرسومة على منحني يياني على أسس الوقت بصيغة معدل شدتها لكل ساعة. والمساحة المظلمة فوق الخط المتقطع تبين كمية المياه الجارية السطحية للقياس بالمتر على مساحة جانية. وبما أن المساحة غير المظلمة تحت الخط المتقطع هي مياه مغمورة لكنها لم تظهر كميًا جارية سطحية فإنها



الشكل (4.4)

شالعات الرشح بمعامل Ø

تمثل مجموع الفقدان ويضمنها التبخر والاحتجاز السطحي (Surface deterrtion) علاوة على الرشح ومع ذلك فإن الرشح يمثل أكبر كمية من الفقدان في أي جاية وعليه إن هذه الطريقة تقريبية وسريعة (حيث أنها لا تأخذ بنظر الاعتبار تغير (f) مع الزمن) لكنها تستعمل بصورة واسعة كطريقة سريعة لتقديم الجريان السطحي المحتمل من مستجمعات كبيرة لمواصف مطرية معينة.

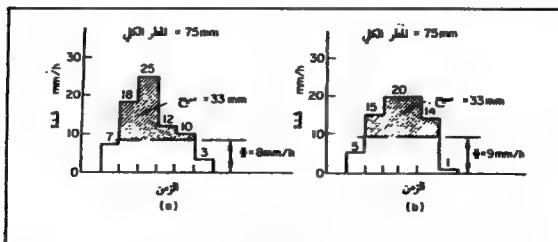
□ مثال (1.4):

إذا كانت كمية المطر الكلية هي 75 ملم كما هو موضح في الشكل (a5.4) وكانت المياه الجارية السطحية من المساحة لهذا المطر مساوية لعمق 33 ملم. عين معامل  $\phi$  للجاية.

إن خط معامل  $\phi$  يرسم بشكل بحيث تكون المساحة المظللة فوقه تساوي لـ 33 ملم من الجريان السطحي.

في هذه الحالة فإن معامل  $\phi$  سيكون 8 ملم / ساعة.

لتفرض مثلاً بأن نفس الكمية من المطر قد توزعت كما هو موضح في الشكل (b5.4) فللحصول على جريان سطحي مساو لـ 33 ملم فوق خط معامل  $\phi$  يتطلب رفع الخط إلى قيمة ثانية لمعامل  $\phi$  وهي 9 ملم / ساعة.



الشكل (5.4)

امثلة على حسابات معامل  $\phi$

من الواضح لذلك بأن تحديد واحد لمعامل  $\phi$  له قيمة محدودة ويجب عمل عدد من العمليات المشابهة لتحديد هذه القيمة وأخذ معدلها قبل استعمال مثل هذه المعامل.

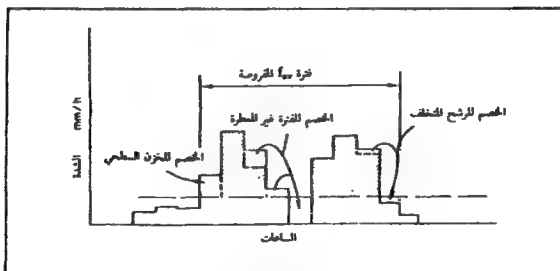
#### 4.3.4 طريقة $f_{ev}$ :

إن هذه الطريقة هي تطوير لطريقة معامل  $\phi$  وفيها محاولة للسماح للخرن في المنخفضات وكذلك الفترات القصيرة غير المطيرة أثناء العاصفة بالإضافة إلى إهمال فترات المطر التي تكون فيها الشدة أقل من سعة الرشع المعروضة للتربة.

بالرجوع إلى الشكل (6.4) فإن الموقع التقريبي لخط  $f_{ev}$  ثبت بالاستناد إلى معلومات الجريان السطحي ومخاطط المطر. وبعد ذلك يزحف هذا الخط عمودياً إلى أن تتوازن القيم المختلفة للفقدان ويحصل اكتفاء لكمية الجريان السطحي.

إن تخمين مقدار الفقدان يتم على أساس الكمية المتاحة من معلومات وقرار المحلل الذي هو قرار شخصي ولكن ومن تحليل عدد كبير من العواصف المطرية في الامكان تخمين قيم  $(f_{ev})$  لمختلف الظروف.

عند تطبيق القيمة المستخرجة من  $(f_{ev})$  لعاصفة مطرية لتخمين الجريان السطحي المتوقع فإن فترات المطر الواقعة خارج فترة الـ  $(f_{ev})$  يفترض بأنها مفقودة وأن



الشكل (6.4)

امثلة على توزيع  $f_{ev}$

قيمة المطر الفعلي تستخرج مباشرة بعد إدراج الفقدان المخمن كما هو موضح. وقد أعطى بتر (Butler) (30) حساباً مفصلاً لهذه الطريقة.

#### 4.4 تأثير رطوبة التربة:

##### 1.4.4 ظروف رطوبة التربة الابتدائية:

إن الطرق السالفة الذكر لتحمين الفقدان موضوعة بصورة أساسية من معلومات المطر والجريان السطحي لجائيات معينة وتصرفهما تحت أمطار مختلفة الشدة. إن هذه الطرق تبين متوسط القيم المحددة لسعة الرشح مستخلصة هذه المعلومات بالنسبة لكل الجائيات وليست كما في طريقة تعينه لمساحات صغيرة جداً كما في طريقة مقياس الرشح. ولهذا فلا يمكن بهذه الطرق التنبؤ بدقة عن كميات مياه المطر التي ستمتصها التربة والتي ستفقد من الجريان السطحي في حالات معينة طالما تعتمد بصورة أساسية على حالة الرطوبة الموجودة في التربة في وقت بدء المطر. كما أن الجريان السطحي المؤثر من خلال سعة الخزن، فإن رطوبة التربة الابتدائية تؤثر على سعة الرشح وبالتالي على الجريان السطحي في المراحل الأولية من العاصفة. لهذا السبب فإن قياسات أخرى لهذا العامل ضرورية، إذا كان المطلوب التنبؤ بكمية الجريان السطحي من أمطار مشروطة. إن طرق معامل  $\phi$  أو  $(f_{av})$  تعطيان قيماً متوسطة والتي هي في حالات معينة بعيدة عن الواقع واستعملت تلك الطرق بشكل جيد بعد تخمين مستقل للفقدان الابتدائي. هناك طريقتان لحل هذه المسألة المذكورة: الأولى طريقة معامل السقيط السابق والمستعملة في الولايات المتحدة الأمريكية. والثانية طريقة تخمين النقص في التشبع والتي تستعمل في بريطانيا.

##### 2.4.4 معامل السقيط السابق: (Antecedent precipitation index)

إن طريقة معامل السقيط السابق مبنية على أساس الافتراض بأن رطوبة التربة تستنفذ بمعدل يتناسب مع كمية المخزون في التربة.

هناك إذن معادلة لوغاريتمية

$$I_t = I_0 k^t \quad (1.4)$$



حيث:

$I_0$  = القيمة الابتدائية للمعامل (ملم).

$I_t$  = قيمة المعامل بعد (t) من الأيام.

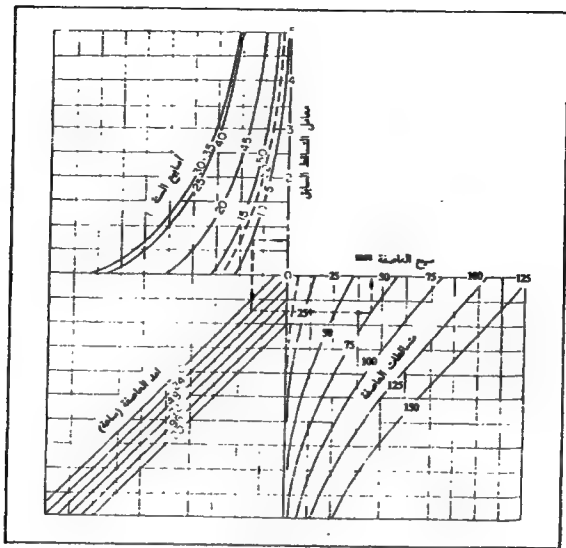
$K$  = ثابت الارتداد وقيمته حوالي 0.92 ويتراوح بين 0.85-0.98.

فإذا كانت قيمة (t) هي وحدة واحدة فإن قيمة المعامل لأي يوم هي (K) مضروبة بمعامل اليوم السابق. فإذا حدث السقيط فإن هذا سيؤدي إلى الزيادة في قيمة هذا المعامل بمقدار لا يمكن تحليده طالما هناك كمية من المطر مضافة إلى المعامل ستكون هي الكمية المضافة إلى الخزن الحوضي (Basin Recharge) فقط ولكن الفرق سيكون عادة قليلاً في قيمة المعامل عند استعمال كل المياه الساقطة.

إن التناقص اليومي المستمر في المعامل هو نتيجة التبخر والتساقط وتتغير فصلياً لذلك فإن المعادلة (1.4) تستعمل لقيم (K) متغيرة بحسب الفصول إذا ما استعمل المعامل لتخمين الجريان السطحي الحاصل من عاصمة مطرية فإن هذا التغير يمكن دمجها في علاقة بيانية متحلة المحاور (Coaxial) مشتقة من تحليل مشاهدات أعداد كبيرة من العواصف المطرية وبيانات الجريان السطحي من هذه العواصف على جابية معينة. وقد أعطى لنسلي، كوملر وبولوس (31) وصفاً مفصلاً لكيفية اشتقاق مثل هذه العلاقة الموضحة في الشكل (7.4).

يكون الدخول إلى المنحنى عند طريق معامل السقيط السابق ويرسم خطاً مستوياً من هذا المعامل حتى يقطع منحنى عدد الأسابيع المعين الذي يقابل التاريخ التقويمي ومن هذا التقاطع ينزل عموداً ليقاطع مع المنحنى المناسب لأمد المطر بالساعات ومن ثم خط مستوياً ليقاطع مع منحنى الكمية الكلية للمطر. إن المستقيم العمودي من التقاطع الأخير يبين الجريان السطحي المناسب.

إن طريقة معامل السقيط السابق هي أداة ثمينة للتنبؤ بالجريان السطحي المحتمل من الجاليات المعينة لكن من الضروري بذل جهد كبير لاشتقاق العلاقة المناسبة كمثال الموضحة في الشكل (7.4).



الشكل (7.4)  
العلاقة بين الماصة - السج لنهر (Monocacy) في الولايات الأمريكية

#### 3.4.4 تخمين النقص في الرطوبة:

بما أن التسج والتبخّر هما عمليتان مستمرتان لإزالة رطوبة التربة التي تعاد ثانية بواسطة السقيط فإن قياسات مستمرة ومنظمة لهاتين العمليتين يثمر عنها طريقة لتخمين النقص في رطوبة التربة (s.m.s) دون الحاجة لأي فرضية مثل المعادلة (1.4).

عندما يزيد التبخر على السقيط، فإن النباتات تسحب رطوبة التربة المتجمعة لاستمرار عملية التسج ونتيجة النقص في رطوبة التربة يصبح الاستمرار بعملية التسج أكثر صعوبة.

إن النباتات والمحاصيل المختلفة ذات المجاميع الجذرية المختلفة تستمر في عملية

الفتح بمعدلاتها الكامنة لفترات مختلفة في نفس الظروف. في عملية النقص في رطوبة التربة التي تجري مرتين في الشهر من قبل دائرة الأرصاد في المملكة المتحدة (32)، يفترض بأن لكل محطة يقاس فيها المطر ويخمن التبخر مساحة: 50% منها مغطاة بنباتات قصيرة الجنود قادرة على سحب إلى حد 7.5 ملم الرطوبة قبل أن يبدأ التبخر-الفتح الفعلي بالهبوط أقل من الكامن، 30% منها بنباتات طويلة الجنود والتي تستطيع بالمقابل سحب إلى حد 20 ملم من الرطوبة و 20% هي أراضي ضفية (Riparian) حيث يكون المستوى المائي قريب الى درجة من السطح بحيث أن عمليتي النتح والتبخر لا تتوقفان إطلاقاً.

فعندما يصل الفرق بين المطر والتبخر - الفتح 7.5 ملم فإن قيم التبخر المسحوبة لاحقاً تأخذ بنظر الاعتبار الاختلاف في المساحات والمعدلات وتحسب قيمة وزنية (Weighted) لكل الجاية.

أجريت تخمينات مقدار النقص في رطوبة التربة عن طريق رصد الأمطار المتساقطة والتبخر المقدر على شبكة من 176 محطة وتشر خريطة توضح مقدار النقص المخمن في رطوبة التربة لكل بريطانيا خلال يوم من استلام المعلومات من كل المحطات والشكل (8.4) هو مثال نموذجي لتل هذه الخرائط.

إن التفاصيل الإضافية للنظريات المستعملة في التخمين والطرق المتبعة في تجميع وتصنيف المعلومات متوفرة (33,34) عند مراجعة الشكل (8.4) سيظهر بأن أرجحية ظروف الفيضان (على سبيل المثال) التي تنشأ في أي من المساحات (المينة في التقسيمات الدقيقة) ربما تعين بثقة أكبر عند معرفة النقص في رطوبة التربة هناك. إن النقص المخمن في رطوبة التربة يبقى في حالة مستمرة بواسطة الإضافات والطرح اليومي أو الأسبوعي للمتساقطات والتبخر-نتح إلى حين إصدار النسخة التالية من الخريطة.

إن استعمال طريقة النقص في رطوبة التربة للتنبؤ بحجم الجريان السطحي الناشء من عاصفة معينة لا يختلف عن تلك في طريقة معامل السقوط السابق عما العلاقة المتحدة المعاور فإنها لا تتطلب رقم الأسبوع أو التاريخ التقويمي.

إن تصريف الجاية الفعلي يحسب في الطرق المشروحة لاحقاً في الأجزاء (7.7)،



الشكل (8.4)

انقاص في رطوبة التربة للمخمن في (Sachse) في 27 أيلول 1967 على بريطانيا

(8.7) كمية الفقدان التي يجب طرحها من المطر الحقيقي لغرض حساب المطر الصافي تستخرج باستعمال طريقة النقص في رطوبة التربة و  $(f_{av})$  أو معامل  $\phi$  لحساب فقدان الرشح.

4.4.4 قياس رطوبة التربة:

إن مجس والنكفور لروطوبة التربة (Wallingford Soil Moisture probe) هو جهاز يستعمل لقياس رطوبة التربة في الموقع وابتكر من قبل معهد الهيدرولوجي في

الملكمة المتحدة بالتعاون مع هيئة الطاقة الذرية. وقد صمم الجهاز لاستعماله في الحقل لكل أنواع المناطق وتحت أي ظروف مناخية.

يتألف الجهاز من مصدر مشع موضوع في مجس طوله 740 ملم مصمم بحيث يمكن إنزاله في أنبوب مصنوع من الألمنيوم مثبت بصورة دائمة في الأرض وغطاء وعلبة للمجس وسلك معلق ومقياس. إن النيوترونات السريعة المنبعثة من المصدر المشع تشتت وتقل سرعتها بفعل التصادم مع ذرات مكونات التربة وخاصة هايدروجين الماء الذي في التربة مكونة بذلك نيوترونات بطيئة. وذلك يحس بواسطة كاشف النيوترونات البطيئة في المجس حيث تحول إلى ذبذبات كهربائية تمر خلال السلك المعلق إلى المقياس حيث يبين المعدل على كاشف مرئي.

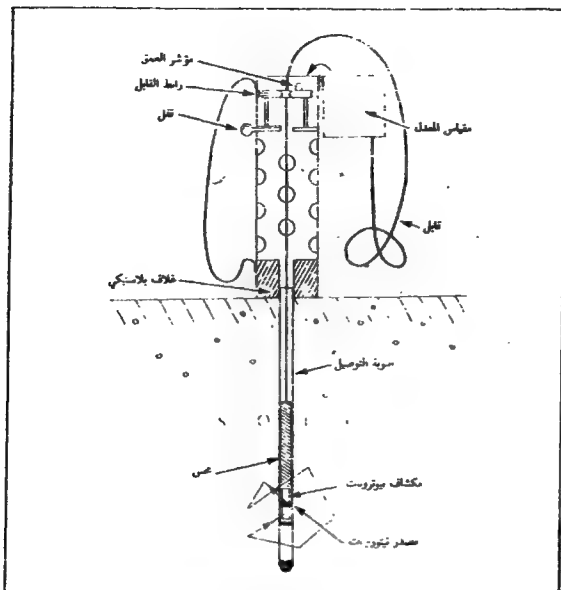
كلما زادت رطوبة التربة كلما ازداد عدد التصادم وبالتالي ازداد عدد النيوترونات البطيئة المكتشفة. إن معدل قراءة الكاشف هو دالة رطوبة التربة عند عمق يساوي عمق المجس. إن قيمة الرطوبة الظاهرة تبين معدل القيمة (لجال التأثير) غير المحدد ضمن التربة المحيطة للمصدر بنصف قطر والذي يمكن اعتباره حوالي (150-300 ملم). وعنداً من القراءات تجري بالنسبة إلى عمق المقطع بفواصل عادة 100-150 ملم، والمعدل الوزني لهذه القراءات تعطي كمية الحزن الكلية للمقطع المطلوب.

فإذا كانت الحماية مزودة بعدد من أنابيب الألمنيوم المثبتة بصورة دائمة في مناطق مناسبة فإن جهازاً واحداً مزوداً بمصدر للطلاقة يمكن حمله من موقع إلى آخر لقياس رطوبة التربة عند كل أنبوب وهذه الطريقة يزال عنصر التخمين عند تقييم هذا العامل.

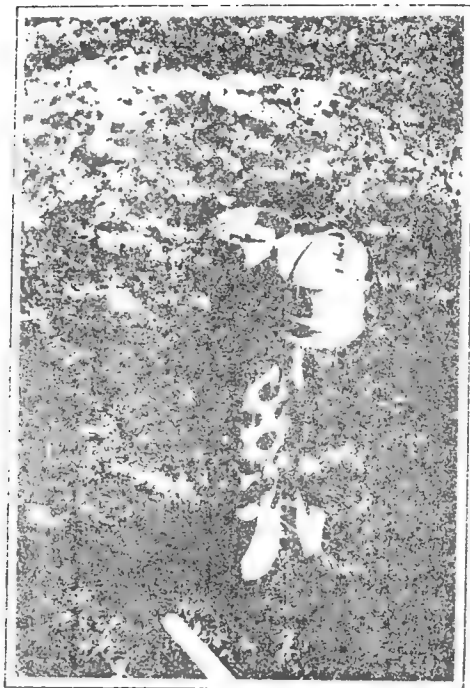
إن المجس النيوتروني يستعمل عادة لعمل قياسات مكررة لغرض حساب تغير الرطوبة في نفس الموقع والعمق وإنه يستطيع إعطاء نتائج ذات دقة عالية لهذا الغرض.

إن دقة القيم المطلقة للرطوبة من جانب آخر تعتمد على المعايرة الصحيحة في كل موقع وعمق وهي ليست عملية بصورة عامة.

إن تخطيطاً للجهاز وكذلك صورة لأحد الأجهزة منير الاستعمال موضحتان في الأشكال (9.4)-(10.4) بالتعاقب.



الشكل (9.4)  
مقياس (Wallingford) لرطوبة التربة



الشكل (10.4)  
محس (Wallingford) لوطوية التربة





## الماء الأرضي

## Ground Water

## 1.5 حدوث الماء الأرضي:

نسمى الأمطار التي تترشح إلى التربة وتتوغل إلى الطبقات التحتية بـ «الماء الأرضي». تعتمد كمية المياه التي تستطيع أن تتراكم تحت السطح على مسامية الطبقات تحت سطح الأرض وتسمى الطبقة الحاملة بالماء بالحشرج (Aquifer) وهذه الطبقات ربما تتكون من مواد غير متماسكة مثل الرمل والحصى ومن رواسب جليدية أو تتكون من مواد متماسكة مثل الصخور الرملية والصخور الجيرية. إن الصخور الجيرية هي نسبياً غير نافذة لكنها تنوب في الماء ولذلك فغالباً ما تملك فواصل عريضة ومسالك للمحاليل والتي تجعل الصخور هذه ككل مشابهة إلى صخور نافذة في قابليتها لحمل الماء وتعمل كطبقة حاملة للمياه.

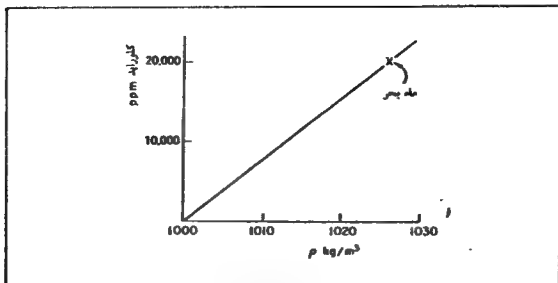
إن الماء في فجوات الطبقات الحاملة للمياه معرض لقوة الجذب وهذا يميل إلى الانجلاء في جريانه إلى الأسفل من خلال فجوات المواد. وتتغير مقاومة هذا الجريان داخل الأرض بصورة كبيرة وأن نفاذية المواد (Permeability) هي قياس لتلك المقاومة. إن الطبقات الحاملة للمياه والتي فيها فجوات وفراغات كبيرة كالحصى الخشن يقال بأنها تملك نفاذية عالية وتلك التي فيها فراغات صغيرة جداً مثل الطين - التي لها فراغات مجهرية - لها

نفاذية قليلة. كلما يترشح الماء الأرضي إلى الأسفل تصبح الطبقات الحاملة للمياه مشبعة ويطلق على سطح الشبع بمستوى الماء الأرضي (Ground water Table) أو (Phreatic Surface). قد ينحدر هذا المستوى انحداراً شديداً وتعتمد استقراريته على التجهيز من الأعلى، حيث ينخفض أثناء فترة الجفاف ويرتفع في المناخ الممطر وعادة ما يتحرك في الطبقات الحاملة له ببطء نحو أقرب سطح مائي مكشوف مثل بحيرة أو نهر أو بحر. ومن ناحية ثانية إذا كانت هناك طبقة غير نافذة تحت الطبقة الحاملة للمياه ويرزت هذه الطبقة فوق السطح فإن الماء الأرضي سيظهر على السطح ليشكل منطقة نز أو على شكل ينبوع (Spring) وبغض الاحتمالية للطبقة الحاملة للمياه أن تكون مغطاة بطبقة مواد غير نافذة وعليه ستكون تحت ضغط، ويطلق على هذه الطبقة الحاملة للمياه والتي تغلغل عن بعد بالشرح المحصور (Confined Aquifer) ويطلق على السطح الذي قد يرتفع اليه الماء إذا استطاع بمستوى الضغط (Piezometri surface) وبعض الأحيان تطلق كلمة أرتوازية على هذه الطبقات الحاملة للمياه إذا كان مستوى الضغط أعلى من مستوى سطح الأرض في الآبار الارتوازية، التي يطلق عليها بـ (الآبار المتدفقة). وإذا ما حدث أي تشقق في الطبقة غير النافذة العليا فسيستج في مثل هذه الظروف - ينبوع أرتوازي (Artizian Spring). في بعض الأحيان قد تتواجد مساحة صغيرة غير نفاذة في طبقة كبيرة حاملة للمياه ويحدث هذا نتيجة تشقق جيولوجي أو خلال عذسة طين متواجدة في رمل منجرف جليدياً مثلاً. يطلق على مستوى الماء القليل المحلي بمستوى الماء (Perched water table) وهذا ربما ينتج وعادة ما يكون في مكان أعلى من مستوى الماء الأرضي الحقيقي. إن بعض ظواهر بروز الماء الأرضي التي سبق ذكرها قد بينت في الشكل (1.5).

## 2.5 عوامل التأثير:

يحدث جريان الماء الأرضي في وسط مسامي، وقد تكون الفجوات التي تتم فيها الحركة صغيرة جداً وتتراوح بصورة عامة من 2 ملمتر إلى 0.02 ملمتر. إن الحركة بطيئة جداً بالقياس إلى الجريان السطحي ويكون الجريان على شكل طبقات (Laminar) ويكون عدد رينولد (Reynold's number) لهذا النوع من الجريان قليلاً جداً.





الشكل (2.5)  
كثافة الماء المالح

تغير كثافة الماء العذب مع الحرارة

الحرارة °م	0	4	10	15	20
الكثافة غرام / لتر	999.864	1000	999.727	999.126	998.230

□ اللزوجة: (Viscosity)

هي مقياس لمقاومة القص للسائل فالسائل الأقل لزوجة هو الأكثر تحركاً والأكثر اختراقاً.

□ اللزوجة المطلقة: (Absolute viscosity)

ويرمز لها بالحرف اللاتيني ( $\mu$ ) ووحداتها نيوتن. ثانية/م<sup>2</sup> (في الوحدات CGS البوز (Poise) يساوي 10<sup>-1</sup> نيوتن. ثانية / م<sup>2</sup>). وتكون اللزوجة المطلقة للماء في درجة حرارة 20°م هي

$$1 \text{ سنتيبواز (0.01 بواز} = 10^{-3} \text{ نيوتن. ثانية / م}^2)$$

### □ اللزوجة الكيميائية: (Kinematic Viscosity)

ويرمز لها بالحرف  $\nu$  ، وهي نسبة اللزوجة المعلقة إلى الكثافة أو

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

وحداتها م<sup>2</sup>/ثانية (بالوحدات المترية، ستوك (Stoke) ويساوي 10<sup>-4</sup> م<sup>2</sup>/ثانية) وتظهر اللزوجة الكيميائية في عدة تطبيقات ومثلاً عدد رينولدز

$$R = \frac{vD}{\nu}$$

إن قيمة اللزوجة الكيميائية للماء ( $\nu$ ) تساوي 10 م<sup>2</sup>/ثا = 10<sup>-2</sup> ستوك. إن اللزوجة الكيميائية لا تعتمد على الضغط وهي معتمدة اعتماداً جوهرياً على درجة الحرارة.

إن الوسط الذي يتحرك فيه الماء الأرضي يميز بخواص المسامية والنفاذية وإلى مدى ثانوي بالانضغاطية. إن العاملين الأول والثاني قد أخذنا بنظر الاعتبار هنا.

### □ المسامية: (Porosity)

$$\text{معركة } n = \frac{\text{الفراغات الكلية}}{\text{الحجم الكلي}}$$

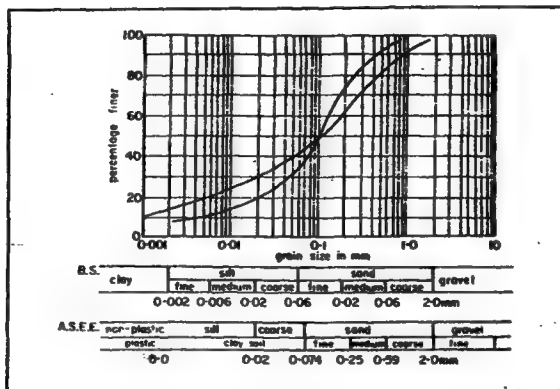
وربما تتراوح من نسبة قليلة إلى حوالي 90%. وفي كتلة مؤلفة من حبيبات كروية الشكل،

فإن المسامية في حالة التراكم غير المصفوفة = 47.6%،

والمسامية في حالة التراكم المحشور = 26%.

من الطبيعي أن الترب الطينية مؤلفة من جزيئات غير منتظمة لعدد من الأحجام المختلفة فكلما كانت التربة منتظمة مالت المسامية إلى الازدياد في حين الترب غير

المتظمة، تمثل الجزيئات الصغيرة للماء الفراغات بين تراكب الجزيئات الكبيرة. فالطريقة القياسية إذن لأي مسح للماء الأرضي هو تحليل التربة ميكانيكياً ورسم حجم الحبيبات بيانياً واستعمال قياس لوغاريتمي ويوضح الشكل (3.5) تحليلًا نموذجيًا لنوعين من التربة. إن للتربة ذات الانتظام الأكبر انحطاطاً شديداً وطبعاً تكون المسامية أكبر.



الشكل (3.5)  
رسم تحليل حجم الحبيبات

عندما يملأ الماء فجوات التربة، فإن طبقة خفيفة ويتكون سمكها من بضع جزيئات، تكسو ذرات التربة. وهذا الماء ليس طليق الحركة وملتصق بالذرات حتى عندما تبتزل الفجوات وهو يحتل جزء من الفراغ المتوفر وهذا يعني أن المسامية المؤثرة (Effective porosity)  $n_e$  قد تكون أقل من المسامية الحقيقية  $n$ . وفي المواد الخشنة، كالخصى مثلاً - ليس هناك فرق واضح بين المسامية الحقيقية والمسامية المؤثرة لكن في المواد الرملية الناعمة قد يكون الفرق 5% وربما يزيد هذا الفرق في الترب الناعمة جداً.

في أغلب اعتبارات المسامية في جريان الماء الأرضي، المسامية المؤثرة هي ذات الأهمية.

## □ النفاذية: (Permeability)

هي دالة المسامية والتركيب (Structure) والتاريخ الجيولوجي للمادة ويعني بالتركيب حجم وتوزيع وترتيب وتوجيه وشكل هذه الحبيبات.

على سبيل المثال في حال ترسيب الحبيبات السطحية السائدة في الماء فإنها ستميل إلى الاضطجاع على محورها الأفقي الطويل. في هذه التربة ستكون النفاذية في المحور الأفقي أكبر من تلك في المحور العمودي. ويطلق على هذه التربة بالتربة متباينة الخواص (Anisotropic) (خواصها ليست واحدة في جميع الاتجاهات).

تعرف نفاذية أي مادة بمعامل نفاذيتها (Coefficient of Permeability) ويرمز له بالحرف (K) ويعتمد معامل النفاذية على العوامل المذكورة اعلاه والتي قد تكون هندسة منظومة الفجوة ولها وحدات المتر / يوم، او قدم / يوم.

أجريت عدة محاولات لإيجاد صيغة لـ (K) بدلالة خواص المواد التي يمكن قياسها. هذا هو صعب جداً بصورة عامة وفي الامكان استعمال مثل تلك الصيغ في تطبيقات ضيقة الحدود. على سبيل المثال المعادلة التي استعملت في المرشحات الرملية المستعملة في إسالة المياه وتطبيق لوسط حبيبي مكور متجانس فقط وعلى أن لا يكون حجم الحبيبات صغيراً جداً، هي

$$k = C d_{10}^2$$

حيث أن:

K = معامل النفاذية (م / يوم).

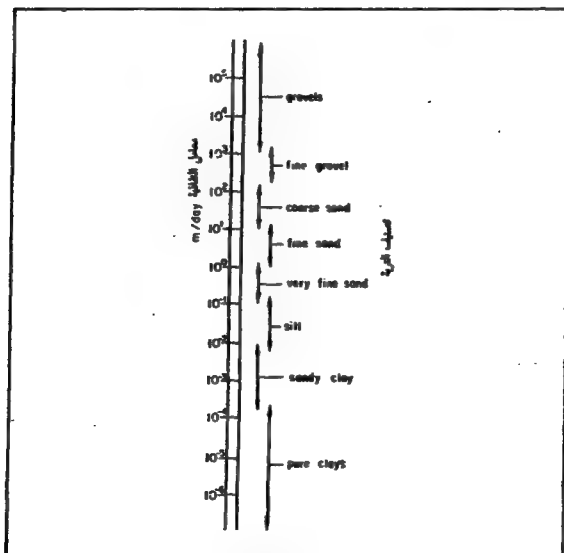
$d_{10}$  = حجم الحبيبات (بالمليمتر) حيث أن 10% من الحبيبات هي الأكثر نعومة و 90% هي الأخشن.

C = ثابت وقيمته تتراوح من 400 إلى 1200 (المعدل 1000).

يجب التأكيد على مثل هذه الصيغ والمعادلات قليلة الأهمية في المواد غير المتجانسة أو خارج الحدود المعروفة بدقة.

ليس من الضروري أن تكون قيمة معامل النفاذية ثابتة لتربة معينة طالما في

الامكان حدوث التآكل الكيميائي والترسب مع توغل الماء الأرضي. إن بعض قيم معامل النفاذية (K) كما هي موجودة في الطبيعة مؤشرة على مقياس لوغاريتمي للنفاذية في الشكل (4.5).



الشكل (4.5)  
مدى نفاذية التربة

### 3.5 جريان الماء الأرضي: (Ground water Flow)

#### 1.3.5 قانون دارسي: (Darcy's Law)

قبل المحاولة لإيجاد أي صيغة رياضية لجرّان الماء الأرضي من الضروري عمل افتراضات تبسيطة معينة.



1 - إن المادة متجانسة ومتشابهة الخواص في جميع الاتجاهات.

2 - عدم وجود منطقة جذب شعري.

3 - الجريان ثابت.

إن القانون الأساسي هو قانون دارسي في عام 1856، الذي ينص على أن معدل الجريان لوحدة المساحة بطبقة حاملة للمياه يتناسب طردياً مع انحدار الشحنة الكامنة (Potential head) المقيس باتجاه الجريان، أو  $v \propto i$ ، وبإدخال ثابت التناسب، والذي هو معامل التفافية K

$$v = ki$$

ولطبقة حاملة للمياه معينة أو لجزء من هذه الطبقة مساحتها A والمساحة عمودية على الجريان

$$Q = vA = kAi$$

حيث:

$v$  = سرعة الماء (مقسمة كوقت لازم للمرور بين نقطتين استراتيجيتين) في المتر / اليوم (أو المتر / ثانية أو القدم / ثانية... الخ) وتسمى بالسرعة النوعية (Specific Velocity).

$i$  = الانحدار الهيدروليكي وهو يساوي الانحدار الكامن طالما أن السرعة هي صغيرة جداً ولا يوجد فعلياً شحنة السرعة (Velocity head) ويكتب الانحدار أيضاً بشكل  $\frac{dh}{ds}$  حيث  $s$  = المسافة بموازاة خط الجريان و  $\emptyset$  الشحنة الكامنة.

إن السرعة النوعية هي ليست السرعة الحقيقية ولكنها فقط التصريف على المساحة  $Q/A$ . والسرعة الحقيقية في الفجوات هي أكبر من السرعة النوعية طالما أن الطريق الذي يسلكه الماء دائماً أطول من الخط المستقيم بين أي نقطتين. إذا رمز إلى معدل السرعة الحقيقية أو الفجوية بالرمز  $v$  فإن

$$\text{معدل السرعة الحقيقية} = \frac{\text{التصريف}}{\text{مساحة الممر المائي}}$$

$$\bar{v} = \frac{Q}{An_0} = \frac{Av}{An_c} = \frac{v}{n_c}$$

.. السرعة الفجوية (معدل) = السرعة النوعية مقسومة على المسامية المؤثرة.

وطالما أن توزيع السرعة خلال الفجوة عتدل أن تكون على شكل قطع مكافئ (Parabolic) فإن أقصى سرعة ستكون في المركز وصغراً في الحافات.

فالسرع الفجوية القصوى  $v_{max}$  = ضعف معدل السرعة الفجوية تقريباً

$$v_{max} = 2v$$

ولحالة خاصة مثل  $n_0 = \frac{1}{2}$

فإن

$$v_{max} = 6v, v = 3v$$

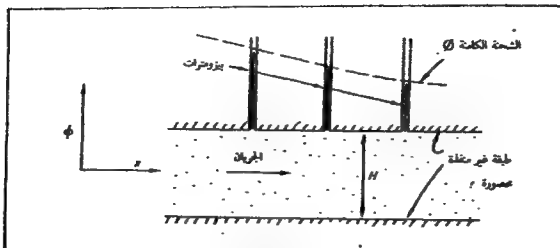
عل الرغم من أن تلك أرقام نموذجية فمن المهم تذكر رجعت السرعة طالما أن سرعتها  $v_{max}$  تعتمد عل رقم رينولد وديمومة الجريان الانسيابي.

### 2.3.5 الجريان في الحشرج المحصور: (Flow in a confined aquifer)

خذ بنظر الاعتبار حالة الجريان أحادي اللاتجاه في طبقة حاملة للمياه محصورة ذات معامل نفاذية (K) كما موضح في الشكل (5.5) حيث يجري الماء الأرضي من اليسار إلى اليمين وتستهلك الطاقة اللازمة لتحريك الماء خلال الفجوات باستمرار استعمال الشحنة المتوفرة وهكذا ينحدر خط الشحنة الكامنة كما هو مؤشر بالبيزومتريات الموضوعة في الطبقة الحاملة للمياه.

من قانون دارسي

$$n_c = -k \frac{dh}{dx}$$



الشكل (3.5)  
الجريان في الحشرح الموصود

وإذا كانت  $q$  هي الجريان في الطبقة لوحدة العرض فإذاً

$$q = -kH \frac{d\phi}{dx} \quad (1.5)$$

وطالما أن الجريان قد فرض ثابتاً

$$\frac{dq}{dx} = 0$$

ومن تفاضل المعادلة لـ  $q$  أعلاه

$$\frac{dq}{dx} = -kH \frac{d^2\phi}{dx^2}$$

ومنها

$$\frac{d^2\phi}{dx^2} = 0 \quad (2.5)$$

طالما أن لكل من  $K$  و  $H$  قيمة معينة.

إن المعادلتين (1.5) و (2.5) هما المعادلتان التفاضليتان الأساسيتان لحالة الطبقة

الحاملة للمياه (الحشرج) المحصورة. ويتقديم شروط متاخمة مناسبة، فمن الممكن حل عدة مسائل لهذه الحالة بواسطة المعادلات.

لاحظ أن  $v_x$  ي قانون دارسي هي السرعة النوعية.

### 3.3.5 الجريان في حشرج ذي منسوب ماء ارضي:

(Flow in an aquifer with phreatic surface)

خذ بنظر الاعتبار الآن حالة الحشرج ذي مستوى ماء ارضي مضطجع على طبقة غير نفائة، تلك الحالة موضحة في الشكل (6.5).

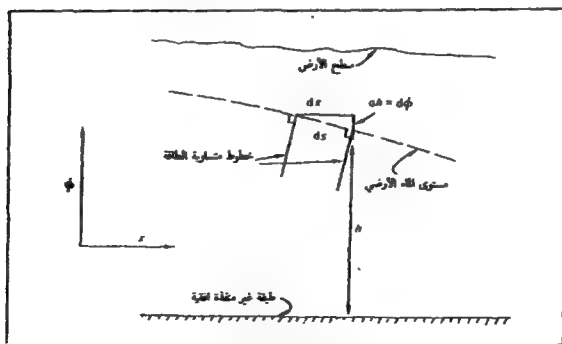
إن أول معادلة لقانون دارسي ستكون هنا.

$$u_x = -k \frac{d\phi}{ds}$$

حيث

$S$  = المسافة مقيسة باتجاه الجريان.

فإذا ما عملت فرضيتان (فرضيات ديكوت (Dupuit):



الشكل (6.5)

الجريان في طبقة حاملة للمياه لها منسوب ماء ارضي

1 - بالامكان احلال  $\frac{d\phi}{ds}$  محل  $\frac{d\phi}{dx}$  (هذا جائز إذا كانت قيمة  $d\phi$  صغيرة).

2 - إن خطوط الجريان في الطبقة هي أفقية وخطوط التكامن عمودية (صحيحة تقريباً فيما عدا قرب نقاط المآخذ).

بهذا يصبح

$$\frac{d\phi}{dx} = \frac{dh}{dx}$$

وتصبح معادلة دراسي

$$q = -kh \frac{dh}{dx} \quad (3.5)$$

و

$$\frac{dq}{dx} = -\frac{1}{2}k \frac{d^2(h^2)}{dx^2}$$

بواسطة الاستمرارية (Continuity):

$$\frac{dq}{dx} = 0$$

(\*) إن قاعدة الأسى للفاضل قد تكتب بالشكل التالي:

$$\frac{d(x^n)}{dx} = nx^{n-1} \frac{dx}{dx}$$

$$\therefore \frac{d(h^2)}{dx} = 2h \frac{dh}{dx}$$

$$\therefore \frac{1}{2} \frac{d(h^2)}{dx} = h \frac{dh}{dx}$$

$$q = -kh \frac{dh}{dx}$$

$$\therefore q = -\frac{1}{2}k \frac{d(h^2)}{dx}$$

$$\therefore \frac{dq}{dx} = -\frac{1}{2}k \frac{d^2(h^2)}{dx^2}$$

هذا

$$\frac{d^2(h^3)}{dx^2} = 0 \quad (4.5)$$

إن المعادلتين (3.5) و (4.5) هما المعادلتان الأساسيتان لحل المسائل في حالة وجود مستوى للماء الأرضي (ما عدا الحالات التي تكون فيها فرضيات ديكنوت غير معقولة).

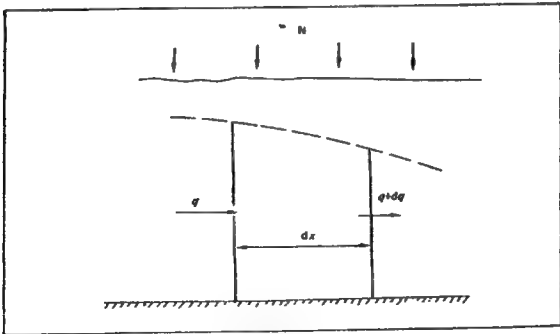
إذا كانت الطبقة الحاملة للمياه تتغذى من مطر ساقط على سطح ارض، مع الفرض بأن كمية المطر المتساقط هو  $N$  بوحدة ملاتمة (كما في الشكل 7.5). ففي هذه الحالة

$$dq = N \cdot dx$$

$$\therefore \frac{dq}{dx} = -\frac{1}{2}k \frac{d^2(h^3)}{dx^2} = N$$

$$\therefore \frac{d^2(h^3)}{dx^2} = -\frac{2N}{k} \quad (5.5)$$

إن المعادلتين (3.5) و (5.5) هما الآن متابستان.



الشكل (7.5)

الجريان في حشرج مستوى الماء الأرضي معطر

□ مثال (1.5):

افترض وجود قناتين، في مستوى مختلف موصولتين بشريط من الأرض عرضه 100 متر ومعامل تفاديته  $12(K)$  متر / يوم كما موضح في الشكل (8.5)، فإذا كانت القناة الأولى مرتفعة بمقدار 2 متر من القناة الثانية وعمق الطبقة الحاملة للمياه 20 متر تحت القناة الثانية إلى الطبقة غير النفاذة. أوجد الجريان باتجاه كل من القناتين لكل متر طول. خذ التساقط السنوي كعمق 1.2 متر. وافترض ترشح 60% منه. وافترض مركز المرجع كما مؤشر في الشكل. بعدئذ فإن شروط المخاضة ببساطة هي:

$$\text{عندما } x=0 \text{ تكون } h=20$$

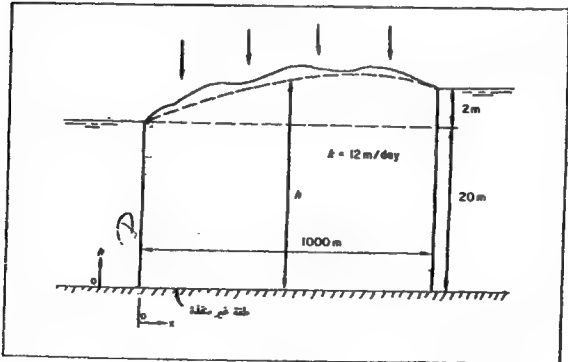
$$\text{و } x=1000 \text{ تكون } h=22$$

$$N = 60\% \text{ من } 1.2 = 0.72 \text{ متر / سنة}$$

$$= 0.72/360 \text{ متر / يوم}$$

من المعادلة (5.5):

$$\frac{d^2(h^2)}{dx^2} = -\frac{2N}{k}$$



الشكل (8.5)

الجريان بين قناتين

وبالتكامل مرتين

$$\frac{d(h^2)}{dx} = -\frac{2N}{k} + C_1$$

$$h^2 = -\frac{N}{k}x^2 + C_1x + C_2$$

عند  $X=0, h=20$

$$\therefore 400 = 0 + 0 + C_2$$

$$\therefore C_2 = 400$$

وعند  $X=1000, h=22$

$$\therefore 484 = -\frac{0.72 \times 10^4}{365 \times 12} + 1000C_1 + 400$$

$$\therefore C_1 = 0.084 + 0.164 = 0.248$$

والآن باستعمال المعادلة (3.5)

$$q = -kh \frac{dh}{dx}$$

والمعادلة (6.5)

$$h = \sqrt{\left(-\frac{N}{k}x^2 + 0.248x + 400\right)}$$

دع الصيغة التي تحت الجذر التربيعي  $\dot{U}$   
فإن

$$\therefore \frac{dh}{dx} = \frac{1}{2u} \left(-\frac{N}{k} \cdot 2x + 0.248\right)$$

في  $x=0$ ،

$$q = -kx^2 \cdot \frac{1}{2u^3} (0.248)$$



$$= -6(0.248)$$

$$= -1.49 \text{ m}^3/\text{day/m}$$

عند  $x=1000$

$$q = -\frac{k}{2} \left( -\frac{2000 \times 0.72}{365 \times 12} + 0.248 \right)$$

$$= -6(-0.328 + 0.248) = 6(0.08) = 0.48 \text{ m}^3/\text{day/m}$$

يوجد انذ تصريف إلى كلتا القناتين من الحشرج بمقدار 1.49 متر مكعب في اليوم إلى القناة السفلى و 0.48 متر مكعب في اليوم إلى القناة العليا لكل متر طول من الحشرج.

إن الحالات البسيطة السابقة تستخدم لبيان الطريق التي بواسطتها تحليل حركة المياه الأرضية. وكلما تعقدت الظروف صعب الحل. لكن هناك حلول نموذجية لعدد من حالات جريان الماء الأرضي حيث أن أكثر الظروف التي قد تتواجد في الطبيعة من المستطاع تحليلها ولو بصورة تقريبية.

#### 4.5 استخراج الماء الأرضي:

(The abstraction of groundwater)

إن أبسط وأقدم طريقة لتجميع الماء الأرضي هو حفر حفرة في الأرض تخترق مستوى الماء الأرضي. فإذا كانت كمية المياه المستخرجة من هذه الحفرة غير كافية فيجب عندئذ توسيع الحفرة أفقياً أو عمودياً. إن اختيار طريقة التوسيع هذه ستعتمد على العوامل الجيوهايدرولوجية المحلية. إذا ما وسعت الحفرة أفقياً فلإنها ستصبح ساقية مجمعة مفتوحة أو من الممكن أن تكون تحت سطح الأرض كنفق مجمع. إن هذه المجمعات الأفقية يجب أن تستعمل إذا كان سمك الحشرج قليلاً أو إذا كان من الواجب تحديد الهبوط (Drawdown) نتيجة الاستخراج كحالة وجود طبقة للماء العذب فوق طبقة من الماء المالح مثلاً.

إن التوسع العمودي للحفرة يكون بزيادة الحفر أو بعمل بئر ثقبية أو حفرة

اسطوانية. في الامكان استعمال هذه الطريقة عندما يكون للحشرج سمك مناسب وفي حالة عمق الحشرج أكثر من 6 أمتار عن سطح الأرض.

تكون أقطار الآبار المنتجة بحدود متر واحد أو أكثر عادة، وهذا فإن عمود الادارة يعمل كخزان لفترة قصيرة في حالة معدل الضخ العالي. وتفيد الأقطار الكبيرة أيضاً عندما يكون من الواجب إبقاء سرعة دخول الماء إلى عمود الإدارة قليلاً، في حالة الرمل الناعم على سبيل المثال.

تحفر معظم الآبار هذه الأيام لتجهيز الماء وتراوح أعماقها عادة بين 30 إلى 500 متر وتنشأ بواسطة أجهزة حفر خاصة والتي بدورها تكسر المواد في نهاية الحفرة إلى قطع صغيرة قد تزال بعد ذلك بأدوات أخرى. تستعمل في الحفر طريقتان أساسيتان: الحفر التقرّي (Percussion Drilling) والحفر الدوار (Rotary drilling).

يشمل الحفر التقرّي رفع وإسقاط أدوات الحفر في فجوة الحفرة بالتناوب والحفر الدوار يتضمن سكينه قطع دوائر تقطع أو تقشط أسفل الحفر وتستطيع أن تتوغل الآبار الثقبية خلال أي مادة من الطين اللين وحتى الصخور الصلبة وإلى عمق كيلومتر أو أكثر. يغلف البئر بعد الحفر بأنبوب حديدي وذلك لمنع جدران البئر من الانهيار وتنشأ في أسفل البئر المدرّاة (Screen) حيث يدخل الماء الأرضي البئر من هذا الجزء (أي من مدرّاة البئر) وبذلك تكون المدرّاة ضرورية لمنع الجزيئات الترابية الناعمة إلى دخول البئر والتي قد تسبب سد قعر البئر والمضخة.

يجب أن تسبب الدريئة أقل فقدان للشحنة حسب الإمكان وأن تكون قوية الإنشاء، مقاومة للصدأ ورخيصة نسبياً. إن هذه الاحتياجات متناقضة لحد ما، طالما الدريئة ذات الفتحات الصغيرة هي أكثر فعالية في إبعاد الجزيئات الناعمة لكنها تسبب في فقد شحنة أكبر. تستعمل دريئات الآبار الحديثة والتي تكون مشققة بشقوق صغيرة من مواد بلاستيكية أو حديدية أو نحاسية أو برونزية أو خشبية أو طينية أو فخارية ويوضع الحصى كالمعتاد حول الدريئة للعمل كمرشح أولي وفي بعض الحالات توضع حزم من الحصى ذات أقطار متناقضة في حلقات مركزية مع تثقيب أسفل الأنبوب المستعمل كغلاف للبئر. إن إنشاء الآبار ومدرّاة البئر وحزم الحصى وتقنية استثمار وصيانة الآبار هي خارج نطاق هذا الكتاب.

يجب أن يوضع الماء إلى السطح حالة دخوله البئر ومن الممكن تصنيف مضخات الآبار إلى: مضخات عاكسة (Reciprocating) أو دوائر العمود الشاقولي (Rotating Vertical Shaft) أو بئرية (Jet) أو هوائية (Airleft) وقد تكون المضخة دوائر العمود الشاقولي سطحية أو غاطسة وقد تكون مضخة دوائر الإزاحة الموجية. إن أكثر المضخات المستعملة الآن هي المضخة الانتبازية الغاطسة الكهربائية (Submersible centrifugal pump) مع محرك كهربائي يرتبط مباشرة بالمضخة والذي يكون موضوع قرب قعر البئر.

إن هذه المضخات مصنوعة بحجوم وأبعاد مختلفة ومن أقطارها 100 ملم لتجهيز شحنة إلى حد 100 متر أو أكثر إذا تطلب ذلك. إن في استطاعة مثل هذه المضخة تجهيز 4 أمتار مكعبة في الساعة بينما المضخة ذات قطر 250 ملم تجهز أكثر بـ 30 مرة. إن الشكل (9.5) يبين رسم لتركيب نموذجي لبئر.

## 5.5 عطاء الآبار: (The Yield of Wells) :

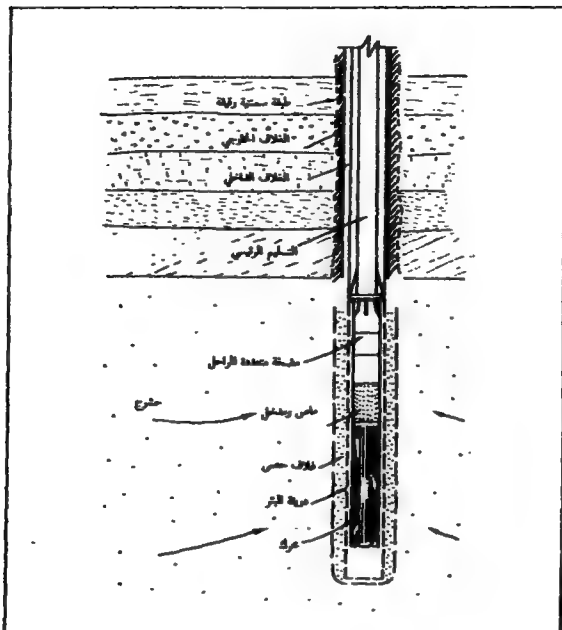
من الممكن اشتقاق الصيغ لمنحنيات الهبوط لبئر واحد من شروط الجريان التي شرحت سابقاً في القسم (3.5). إن الحالتين البسيطتين التاليتين هما اللتان ستوضحان هنا فقط.

الأولى: الجريان الثابت لبئر ماص الماء الجوفية المحصورة والحالة

الثانية: الجريان الثابت إلى مستوى الماء الأرضي في البئر.

يجب أن يؤخذ عوامل أخرى بنظر الاعتبار مثل تأثير التوغل الجزئي للبئر في الحشرج والجريان غير الثابت وإلى آخره.

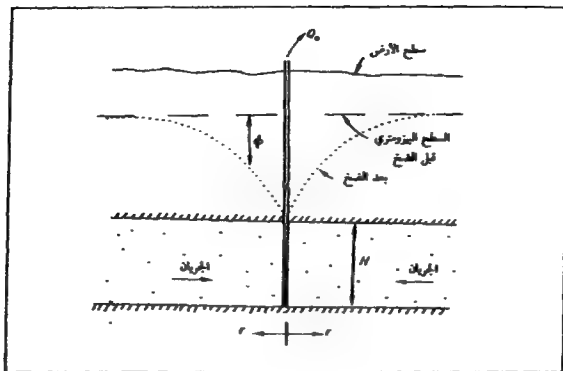
لمعالجات كاملة لهذه العوامل على القارئ الرجوع إلى مصادر منشورة في نفس السلسلة وقد ذكرت سابقاً.



الشكل (9.5)  
رسم تخطيطي لأسفل بئر نموذجي

### 1.5.5 الجريان الثابت المحصور:

يرمز إلى المبووط بـ  $\phi$  ويقاس من السطح البيزومتري غير المتأثر قبل الضخ (أنظر الشكل 10.5). إن الاحداثيات الأفقية مقيسة بشكل شعاعي من البئر ويرمز لها بـ  $(r)$ . طلالا أن الجريان شعاعي للبئر يطلق على الجريان الثابت من البئر  $(Q_0)$ . من الممكن كتابة المعادلات التي تصف الجريان:



الشكل (10.5)  
ضخ بئر من حفرج محصور

من قانون دارسي

$$Q = vA = -k \frac{d\phi}{dr} \cdot 2\pi r H$$

ومن قانون الاستمرارية

$$Q = Q_0 = \text{ثابت}$$

وبالتعويض

$$d\phi = -\frac{Q_0}{2\pi k H} \cdot \frac{dr}{r}$$

وبالتكامل بين الحدود

$$r = r_1, \phi = \phi_1,$$

$$r = r_2, \phi = \phi_2$$

$$\phi_1 - \phi_2 = \frac{Q_o}{2\pi kH} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (7.5)$$

وبالتكامل غير المحدود، يتج

$$\phi = -\frac{Q_o}{2\pi kH} \cdot \ln r + C$$

فإذا كانت  $\phi=0$  عند  $r=R$  إذن

$$\phi = \frac{Q_o}{2\pi kH} \ln \frac{R}{r} \quad (8.5)$$

يمكن إيجاد منحني الميوط من كلا المعادلتين (7.5) و (8.5) إذا علمت الظروف المتأخرة.

2.5.5 الجريان الثابت غير المحصور:

في حالة كون مقدار الميوط طفيف مقارنة لسك الحشرج، فإن المعامل (KH) سيقى تقريباً ثابتاً وربما من الممكن استعمال معادلة للجريان الثابت المحصور. عندما يزداد الميوط فإن مستوى الماء الهابط يقلل من مساحة الحشرج الناقل وتصبح المعادلات الآن برموز الشكل (11.5) كالتالي:

معادلة دراسي

$$Q = 2\pi r \cdot h \cdot k \frac{dh}{dr}$$

قانون الاستمرارية

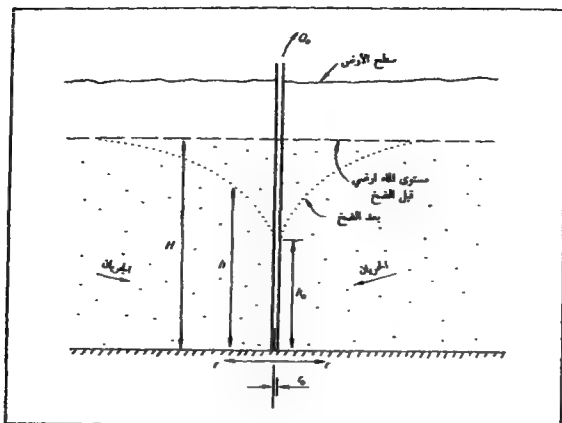
$$Q = Q_o = \text{ثابت}$$

وبالتعويض

$$h \cdot dh = \frac{Q_o}{2\pi k} \cdot \frac{dr}{r}$$

وبالتكامل

$$h^2 = \frac{Q_o}{\pi k} \ln r + C$$



الشكل (11.5)

ضخ بئر من حفر غير محصور

فإذا كانت  $h=H$  عند  $r=R$ ، فإن

$$H^2 - h^2 = \frac{Q_0}{\pi k} \ln \frac{R}{r} \quad (9.5)$$

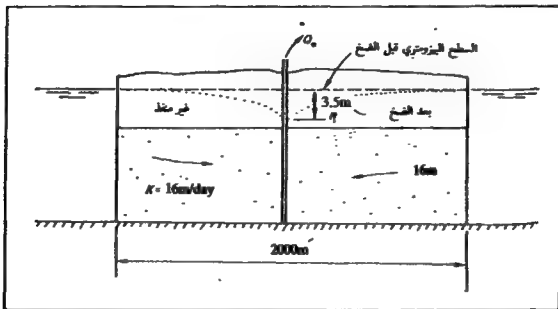
ويجب أن تحقق قيمة (R) الشروط المناخنة (الحدودية) وعليه من الممكن استنتاج المبروط عند حافة البئر (H-h₀) بتقديم نصف قطر البئر (r₀)

$$H^2 - h^2 = \frac{Q_0}{\pi k} \ln \frac{R}{r_0} \quad (10.5)$$

□ مثال (2.5):

حفر بئر إلى طبقة غير نافذة في مركز جزيرة دائرية الشكل قطرها 2000 متر واقعة في بحيرة كبيرة. البئر غترق كلياً الحفر الرمل الذي سمكه 16 متر والذي

يضطجع على طبقة طينية غير نافذة. إن معامل نفاذية الطبقة الرملية 16 متر / يوم. كم سيكون قيمة الجريان الثابت على أن لا يزيد الهبوط في المستوى البيزومتري في البئر الذي قطره 300 مليمتير عن 3.5 متر؟ (الشكل 12.5).



الشكل (12.5)

ضخ من بئر مركزي في جزيرة دائرية وحشرج محصور

□ الحل:

البئر في جزيرة دائرية، فحدود الناحية هي عند (r) تساوي 1000 متر فإن Ø تساوي صفرومن المعادلة (8.5).

$$3.5 = \frac{Q_0}{2\pi \times 16 \times 10} \ln \frac{1000}{0.3}$$

$$\begin{aligned} Q_0 &= \frac{1792}{\ln 3333.3} = 694.024 \text{ m}^3/\text{day} \\ &= 0.008 \text{ m}^3/\text{sec} \\ &= 8 \text{ lit/sec} \end{aligned}$$

3.5.5 الجريان الثابت غير المحصور مع تساقط مطر:  
عندما يتواجد تساقط مطر فتصبح المعادلات كالتالي:

قانون دارسي



$$Q = 2\pi r h \cdot k \frac{dh}{dr}$$

الإستمرارية

$$dQ = -2\pi r \cdot dr \cdot P$$

وبالتكامل:

$$Q = -\pi r^2 P + C_1$$

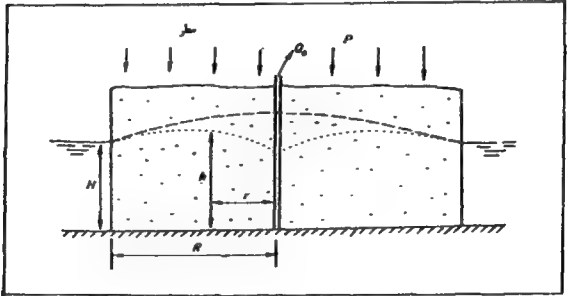
ربما نحسب قيمة  $C_1$  من الشروط عندما تكون  $r=r_0=0$

$$Q=Q_0$$

$$\therefore Q = -\pi r^2 P + Q_0$$

وبتعويض هذه القيمة في معادلة دراسي

$$h \cdot dh = \frac{Q_0}{2\pi k} \cdot \frac{dr}{r} - \frac{P}{2k} \cdot r \cdot dr$$



الشكل (13.5)

ضخ من بئر مركزي في جزيرة دائرية وحشرج غير محصور

وبالتكامل

$$h^2 = \frac{Q_0}{\pi k} \ln r - \frac{P}{2k} r^2 + C_2 \quad (11.5)$$

$C_2$  = هو ثابت التكامل والذي يجب أن يحقق الشروط المتأخة المعنية في حالة  
بئر مركزي في جزيرة دائرية الشكل نصف قطرها  $R$  فعندما يكون  $r=R$   
يصبح  $h=H$  وبهذا

$$C_2 = H^2 - \frac{Q_0}{\pi k} \ln R + \frac{2k}{P} R^2$$

وبتعميـض هذه القيمة في المعادلة (11.5) تصبح

$$H^2 - h^2 = \frac{Q_0}{\pi k} \ln \frac{R}{r} - \frac{P}{2k} (R^2 - r^2) \quad (12.5)$$

وإذا كان  $Q_0=0$ ، أو بمعنى آخر لا يوجد ضخ، فإن شكل سطح الماء الحوضي  
يعطى بالمعادلة التالية

$$H^2 - h^2 = -\frac{P}{2k} (R^2 - r^2) \quad (13.5)$$

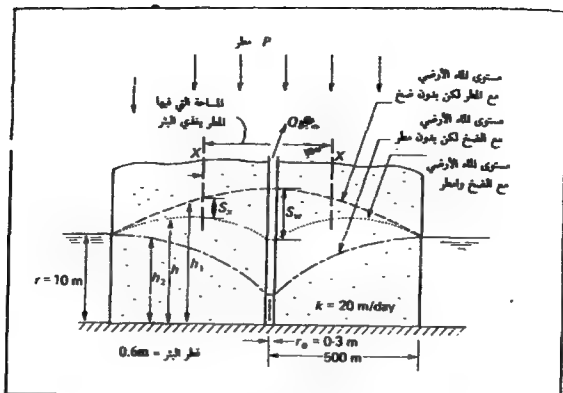
□ مثال (3.5):

جزيرة دائرية الشكل نصف قطرها 500 متر عليها تساقط مطر فعلي  $P$  يساوي  
4 ملمترات في اليوم. أنشأ بئر دائري مركزي ليعطي تصريف ثابت مقداره 25 متر  
مكعب في الساعة من حشرج بالأبعاد والخواص المبينة في الشكل (14.5). ما مقدار  
الهبوط عند البئر وعند الحد الفاصل للماء؟

1 - افرض علم وجود ضخ. فمن المعادلة (13.5)

$$H^2 - h_1^2 = -\frac{P}{2k} (R^2 - r^2)$$

$$100 - h_1^2 = -\frac{0.004}{40} (250000 - r^2)$$



الشكل (14.5)

جزيرة دائرية مع بئر دائري، مطر وحشرج غير محصور. الحل بطريقة الجمع المؤقتي

$$100 - h_1^2 = -25 + \left(\frac{r}{100}\right)^2 \quad (14.5)$$

2 - افترض عدم وجود تساقط مطر. فمن المعادلة (9.5)

$$H^2 - h_2^2 = \frac{Q_o}{\pi k} \ln \frac{R}{r}$$

$$100 - h_2^2 = 21.9 \log \frac{500}{r}$$

وبجمع المعادلتين (14.5) و (15.5) يتج

$$100 - h^2 = -25 + \left(\frac{r}{100}\right)^2 + 21.9 \log \frac{500}{r} \quad (16.5)$$

حيث يكون (r) مساوياً إلى 0.3 متر (عند حافة البئر) فيكون مقدار h مساوياً إلى 7.39 متراً.

ومن المعادلة (14.5)  $h_1$  تساوي 11.19m وتسمية المهبوط عند البئر بـ  $S_w$  فإن  $S_w$  يكون مقدارها 3.8m تحت مستوى الماء الأرضي قبل الضخ.

إذا كان هناك وجود حد فاصل للمياه، فإن كل إنتاج البئر سيكون نتيجة لمساهمة تساقط المطر فقط، بينما إذا كان الماء حول الجزيرة مساهم، فينحدر الانحدار الهيدروليكي إلى الأسفل ونحو الداخل في كل نقطة.

لهذا فإن المساحة المساهمة في التصريف

$$Q_o = \pi r_s^2 P$$

حيث  $r_s$  هي نصف قطر الحد الفاصل

$$25 = \pi r_s^2 \times \frac{0.004}{24}$$

(إن البئر في حدود نصف قطر الجزيرة 500 متر).

$$\therefore r_s = 218 \text{ m}$$

وباستعمال هذه القيمة في المعادلة (16.5) نحصل على مقدار  $h = 10.61\text{m}$  ومن

المعادلة (14.5) نحصل على  $h_1 = 10.97\text{m}$  وتسمية المهبوط عند الحد الفاصل  $S_x$  ومقداره  $S_x = 0.36\text{m}$

على فصل استعمال المعادلة البسيطة (8.5) ويفرض أن سمك الحشرج ثابت، في

هذه الحالة

$$S_w = \frac{Q_o}{2\pi k H} \ln \frac{R}{r} = \frac{600}{2\pi \times 20 \times 10} \times 2.3 \log \frac{500}{0.3}$$

$$= 0.477 \times 2.3 \times 3.223$$

$$= 3.54 \text{ m} \quad (\text{مقارنة مع } 3.8\text{m})$$

$$S_x = 0.477 \times 2.3 \times \log \frac{500}{218}$$

و

$$= 1.01 \times 0.36$$

(مقارنة مع 0.36m)

$$= 0.364m$$

من المستطاع إدراك أن الصيغة البسيطة للحالة المحصورة مناسبة في هذه الحالة ما عدا في المنطقة المجاورة مباشرة للبئر وسيكون هنا في الطبع ضرورة حساب سطح الماء الأرضي إذ لم يكن هناك ضخ.



## السيح السطحي

### Surface Runoff

#### 1.6 المعضلة الهندسية:

إن المطر حين هبوطه إلى الأرض إذا لم يعترض من قبل النباتات أو السطوح الصناعية مثل السقوف أو المسطحات الموصوفة - فإنه قد يتسخر أو يترشح أو يبقى على شكل مخزون في المنخفضات (Depression storage). عند ازدياد هذه الكميات من المياه المنقودة السالفة الذكر فقد يبقى فائض من الماء والذي سيجري بفعل قوانين الجاذبية فوق السطح إلى أقرب جدول. تلتحم الجدول مع الأنهار وتجد الأنهار طريقها إلى البحر عندما يكون المطر غزيراً أو طويل الأمد أو كلاهما فإن الفائض الجاري على السطح يكون كبيراً ولا يستطيع مجرى الجدول أو النهر تقبل كل الكميات الواصلة بصورة مفاجئة. فإن المجرى سيمتلئ ويفيض ولهذا فإنها قد تشكل ضرراً كبيراً على نشاطات الإنسان.

إن أخطر تأثير للفيضان هو تعرية الطبقة السطحية الحصبة من التربة والتي تنمو فيها المحاصيل خاصة إذا كانت هناك ندرة في الأراضي الصالحة. وفي المناطق السكنية ستكون هناك أضرار كبيرة في الممتلكات وتلوث في مياه الشرب وأخطار على الحياة وتعطيل شامل للمواصلات. أما في المجتمعات الزراعية فإن

الفيضان يخيف كالمطاعون لأنه قد يقضي على المحاصيل الزراعية والماشية والمساكن وتحمل المجاعة في أثره.

إن المهتمس الهيدروليكي في تعامله مع السيج يحاول إيجاد أجوبة لعدد من الأسئلة والتي أكثرها وضوحاً هي:

1 - ما مدى تكرار حدوث الفيضان؟

2 - ما مدى سمته وإلى أي مستوى سيرتفع؟

3 - ما مدى تكرار حدوث الجفاف وقلة المياه؟

4 - ما هي المدة التي سيستمر فيها الجفاف؟

إن الأسئلة من هذا النمط هي عبارة عن أشكال مختلفة لسؤال واحد والذي يتعلق بحجم واستدامة سيج الجائيات معينة بالنسبة للزمن. في الإمكان حل مثل هذه الأسئلة فقط بواسطة تحديد تكرار واستدامة تصاريح معينة من خلال الملاحظات وخلال فترة طويلة من الزمن، وحتى ولو لم تكن هناك ملاحظات متوفرة فمن الممكن استعمال طريقة التخمين لاحتمالات مختلفة.

مجموعة أخرى من الأسئلة تظهر عند استعمال منحنيات تكرار واستدامة السيج، إن وجدت، مثل:

1 - كيف يمكن تقليل حجم التصريف؟

2 - كيف يمكن المقارنة بين كلفة السيطرة على الفيضان والأضرار التي قد تحدث فيما إذا لم تتخذ هذه التدابير؟

3 - ما فائدة مياه الفيضان المخزونة لوقت الجفاف؟

إن هذه الأسئلة ليست ذات علاقة مباشرة وكل سؤال يربط طرقاً مختلفة و متميزة من المقترحات ولو أن نفس الأسلوب قد يستعمل في حل أكثر من مسألة واحدة في هذا الفصل وفي فصول لاحقة سنبحث طرقاً عديدة لحل قسم من هذه المسائل.



## 23.6 منحنيات تقدير الجريان: (Flow rating curves)

(تَحْدِيدُهُ، تَعْدِيلُهُ، تَحْدِيدُهُ):

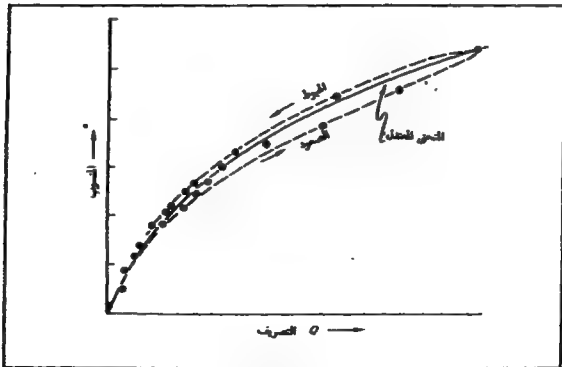
### 1.2.6 تعريف:

إن منحنى التقدير هو منحنى يربط منسوب مستوى سطح الماء أو درجة مقياس (Stage) مجرى النهر في مقطع معين مع التصريف المقابل في هذا المقطع. يبين الشكل (1.6) منحنى التقدير النموذجي. ومن الملاحظ بأن هذا المنحنى مرسوم خلال عدد من النقاط كل نقطة تمثل نتيجة قياس التصريف في النهر من الممكن القيام بمثل هذه القياسات بطرق عديدة أهمها:

1 - طرق السرعة - المساحة.

2 - منشآت قياس الجريان.

3 - قياس التخفيف.



الشكل (1.6)

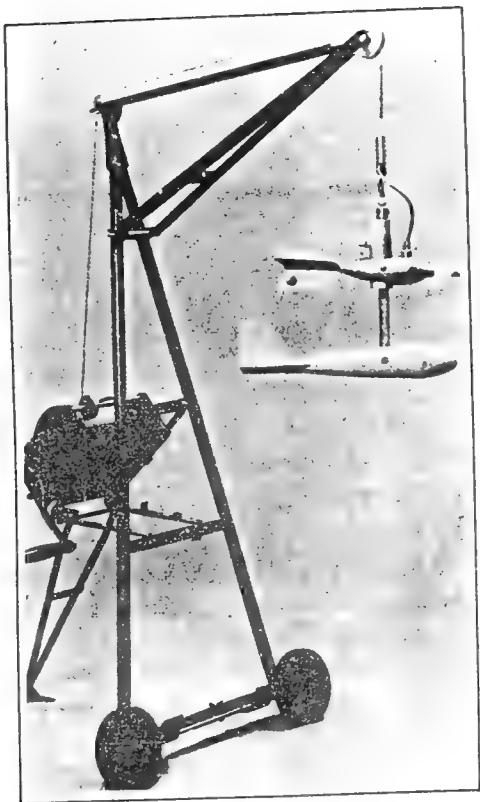
منحنى تقدير الجريان

إن هذه الطرق ملائمة للأنهار المتوسطة والكبيرة وتتضمن استعمال مقياس التيار (Current-meter) الذي هو عبارة عن جهاز يستعمل لقياس السرعة في السوائل. وهو مكون من مروحة صغيرة تدور حول محور أفقي مثبت بطريقة خاصة بحيث يكون موازياً لاتجاه التيار بواسطة زعلف مثبت في المؤخرة. إن الجهاز مثقل لإبقائه عمودياً تحت الشخص المراقب بقدر الإمكان.

هناك نماذج من هذا الجهاز له أقنح محروطية دوارة منتظمة بصورة أفقية حول محور معلق تسجل كل دورة كاملة من دورات المروحة كهربائياً خلال سلك إلى قارئ المقياس وتحسب عد الدورات من قبل قارئ المقياس أو تلقائياً لزمن صغير محدود (2-1 دقيقة مثلاً). تحول هذه القراءات إلى سرع للتيار بواسطة منحنيات المعايرة الخاصة لكل جهاز. بتحريك الجهاز عمودياً وأفقياً إلى عدد من المواقع المعروفة أحدائتها على المقطع العرضي يصبح في الامكان رسم خارطة كاملة لتوزيع السرع في المقطع العرضي وحساب التصريف المار خلاله. يوضح الشكل (2.6) جهاز حديث لقياس التيار معد للاستعمال ويجمع على حامل سلك والذي يستعمل بالإضافة إلى ذلك لقياس الأعماق.

في الإمكان إجراء القياسات بإتزال المقياس من جسر ماء، أما إذا كان الجسر ذو أكثر من فضاء واحد فيكون هناك انحراف وتقارب لخطوط انسياب التيار (Stream line) بسبب وجود الدعامات (Piers) والتي قد تسبب حدوث أخطاء ملحوظة. في أكثر المناطق لا يوجد جسر في موقع القياس الذي يجب أن يكون في منطقة مستقيمة ومنظمة قدر الامكان. في مثل هذه الحالات وفي حالة كون النهر عميقاً أو في وقت الفيضان يجب مد سلك أو حبل غليظ لضبط زورق القياس في وضع ثابت بالإضافة إلى سلك رفيع آخر لقياس وتحديد المواقع الأفقية في المقطع العرضي.

وبما أن مقدار مقاومة التيار المسلطة على قارب يحترق على شخصين على الأقل بالإضافة إلى جهاز قياس التيار المعلق به هي كمية ملحوظة. فيجب استعمال سلك حليدي مربوط بإحكام ولهذا السبب فإن وجود شجرة ملائمة كبيرة في منطقة معينة هي التي تحتم اختيار هذا الموقع للقياس. إن الطريقة الأخرى البديلة هي استعمال



الشكل (2.6)  
جهاز حثيث للقياس سرعة التيار

طريق سلكي لتعليق القياس إما بصورة مباشرة أو من عربة تحمل شخصاً. إن الجهاز في الحالة الأولى يثبت في موقعه بواسطة سلك مساعد يربط بصفقي النهر.

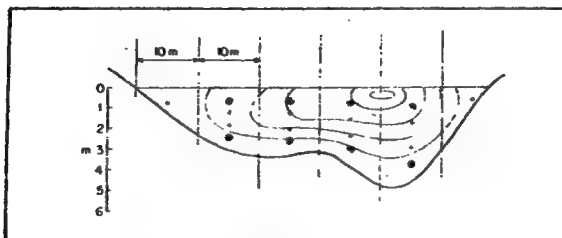
يجب قياس الأعماق في نفس الوقت الذي يجري فيه قياس السرعة طالما أن المقطع العرضي للنهر قد يتغير تغيراً ملحوظاً أثناء مرور تصاريق الفيضان. وعلى القاريء أن يتذكر أيضاً القواعد المبدئية مثل ملاحظة مقياس المنسوب قبل وبعد قياس التصريف وقياس انحلال سطح الماء بواسطة آلة التسوية بصورة دقيقة وذلك بتعيين نقطتين على بعد مقبول أعلى وأسفل محل قياس التصريف (على بعد 500 متر من كلا الاتجاهين).

عند زيادة سرعة المياه في أوقات الفيضانات العالية فإن ذلك يؤدي إلى زيادة انحراف المقياس الثقل باتجاه التيار. في الإمكان إيجاد موضع المقياس بصورة معقولة في هذه الحالة إذا ما قيست زاوية انحراف السلك للعلق به. وفي الإمكان زيادة وزن الثقل المربوط بالجهاز ولكن إلى حد معين. قد تستعمل القضبان (Rods) أحياناً لتثبيت وتعليق الجهاز. وفي هذه الحالة يستوجب وجود هيكل خاص صلب لتثبيت وربط الجهاز بالقرب. وقد يحتاج إلى وجود وصيف ثابت على شكل طوف. إن اهتزاز والتواء القضيب هو من الأمور العادية وخاصة في المياه العميقة إلا إذا زيد قطره عن 50 ملم وبهذه الحالة فإن الجهاز ككل يصبح ثقيلًا ومن الصعوبة إدارته والسيطرة عليه.

طالما أن الأنهار مختلفة فإن من الأفضل بأن يدرس كل نهر ويتطلب هذا تخمين دقيق لعرضه وعمق الماء الذي فيه وسرع الفيضان المحتملة وإمكانية ربط السلك وتيسر أو وجود الجسور أو الزوارق وغيرها قبل البدء في برامج قياس التصريف. لقد وجد من خلال القياسات والملاحظات في أنهار عديدة مختلفة بأنه في الإمكان تقريب الاختلاف الحاصل في السرعة المتكاملة في العمق الكلي للنهر بواسطة معدل قرائتين لدرجة الماء تجري على 0.2 و 0.8 العمق. أما إذا كان الوقت والظروف لا تسمح بعمل هاتين القراءتين في كل محطة أفقية فإن قراءة واحدة على 0.6 العمق ستعطي قيمة تقريبية لتوسط السرعة في كامل العمق.

إن أحسن طريقة لاستخراج التصريف في المقطع العرضي هي بتعيين موقع كل قراءة للسرعة في المقطع العرضي لموقع القياس مع استخدام مقياس رسم عمودي كبير

نسبياً. إن كثاف السرعة (Isovel) أو الخطوط الكتتورية ذات السرعة المتساوية ترسم عندئذ وفي الامكان قياس المساحات المحصورة بواسطة جهاز المساح (Planimeter). في الشكل (3.6) موضح مقطع عرضي نموذجي عولج كما سبق ذكره. والطريق البديلة هي بأن يقسم مقطع النهر عمودياً إلى مقاطع وبحسب معدل السرعة لكل مقطع عمودي لمساحة هذا المقطع.



الشكل (3.6)

كثاف السرعة (الخطوط الكتتورية) لمقطع عرضي لمجرى  
(النقاط المطوقة هي للاحظاءات 0.2 و 0.8 العمق)

إن طريقة الانحدار - المساحة (Slope-area method) يجب أن تستعمل دائماً لمراجعة صحة قياساتنا كما هي موضحة في القسم (6.2.6) من هذا الفصل. وكذلك استخراج قيمة لمعامل (Manning) ( $n$ ). في هذه الحالة من الممكن استخراج قيمة ( $n$ ) للنهر في مختلف مناسبه وهذه كما سيبرهن لاحقاً ذات قيمة كبيرة في حالة تحديد منحنى تقدير التصريف (Discharge Rating Curve).

لغرض توحيد طرق القياس بواسطة مقياس التيلو أصدرت الهيئة العالمية للمقاييس (I.S.O.) اقتراحات عملية. ففي المملكة المتحدة مثلاً فإن هيئة المقاييس البريطانية أصدرت BS 3680 - قياس جريان السوائل في القنوات المكشوفة.

### 3.2.6 منشآت قياس الجريان:

#### (Flow measuring structure)

تصمم هذه المنشآت بطريقة بحيث يتم تصريف المجرى المائي وفقاً لقانون هيدروليكي معين. ومثال على ذلك: إن التصريف لوحدة الطول على سد غاطس (Weir) هو دالة ارتفاع عمود الماء فوق السد. هناك عدد كبير من السدود مثل السد الغاطس الثلاثي (V-notch Weir) والسد المركب (Compound) والسد المسنن (Crump) التي صممت لإعطاء قياسات دقيقة للتصريف من ملاحظات سطح الماء في مقدم (Upstream) السد. ومثابه لهذا هي القنوات المصنوعة (Flumes) حيث يحصر المجرى المائي ضمن قناة مصنوعة ذات مقاطع بأشكال هندسية معينة لمسافة محددة قبل دخولها مساحة ذات مقطع عرضي مختلف ويعمل هذا إما بواسطة التقليل الجانبي (Side construction) أو درجات في القاع. من الشائع استعمال الشكل شبه المنحرف وقد استعمل في الوقت الحاضر مقطع عمودي ضيق لقياس التصريف من جانبية في ويلز. والشكل (4.6) يوضح قناة مصنوعة من النوع الآخر في جانبية (Plynlimone) التجريبي لمعهد الهيدرولوجي.



الشكل (4.6)

قناة ضيقة لقياس الجريان في جانبية (Plynlimone)

من ناحية أخرى، إن منشآت قياس الجريان محدلة بالجدول والأنهار الصغيرة إلى حد ما طالما يستوجب للأنهار العريضة والتصرفات الكبيرة بناء منشآت كثيرة التكاليف وغالية.

#### 4.2.6 مقياس التخفيف: (Dilution gauging)

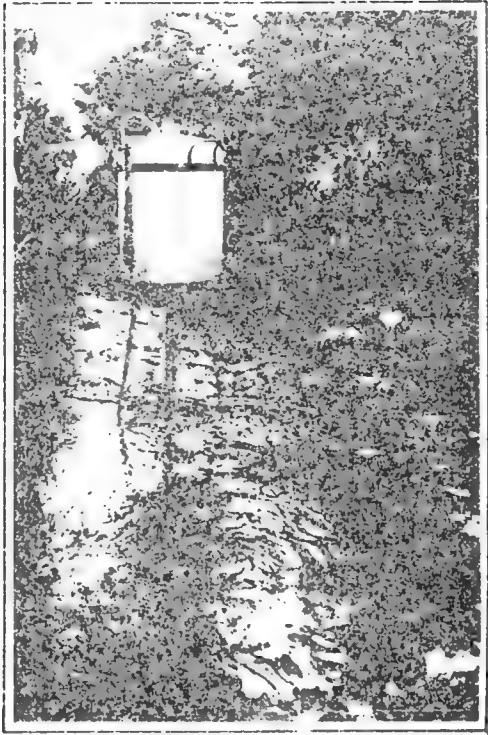
تصلح طريقة قياس التخفيف عملياً للجدول الصغيرة ذات التيار المضطرب (Turbulent) حيث أن العمق والتصرف غير ملائمين لاستعمال جهاز مقياس التيار وإن منشآت قياس الجريان ستكون غير ضرورية لزيادة كلفتها و/ أو لكونها دائمية.

تشمل هذه الطريقة حقن علول كيميائي في المجرى وأخذ عينات من الماء على مسافة معينة أسفل المجرى (Downstream)، بعد أن يحصل خلط كامل للمواد الكيميائية مع الماء. من الممكن إضافة المواد الكيميائية إما بواسطة الحقن بمعدلات ثابتة إلى أن تظهر العينات المأخوذة في أسفل المجرى مستوى ثابت للتركيز أو يعطى المحلول على شكل جرعة مفردة بشكل سريع قدر الإمكان وتعرف هذه الطريقة بالحقن الفجائي (Glump injection). في هذه الحالة إن أخذ العينات لفترة من الزمن يظهر العلاقة بين التركيز والزمن. إن تركيز المحلول الكيميائي في العينات في كلتا الحالتين يستعمل لحساب التخفيف ومنه في الامكان استخراج تصرف الجدول أو المجرى المائي. يبين الشكل (5.6) جهاز حقن بمعدلات ثابتة آلة ثاني كرومات الصوديوم (Sodium dicromate) من قينة ماريوت (Mariote bottle) (جهاز ذو ضاغط ثابت) في جدول جبلي.

إن تحليل العينات تجري بواسطة جهاز آلي لقياس الألوان والذي يقدر تركيز الكميات الصغيرة جداً من مركبات الكروم بالمقارنة مع عينة من المحلول المحقون. إن هذه المعدات غالية ومتخصصة.

إن المراجع المتوفرة حول التخفيف ليست كثيرة ولكن المصادر (35) و (36) قد تعطيان توجيهاً ممتازاً.

إن الطرق المشروحة في الأجزاء (2.2.6) و (3.2.6) و (4.2.6) تستعمل إما بصورة منفردة أو مترابطة وهي تساعدنا على إقامة علاقة بين التصريف والمنسوب لأي جدول أو نهر.



الشكل (5.6)

جهاز حث: ينثر عاقل ثاني كرومات الصوديوم من قنعة ماريوت



عندما يعين منحنى تقدير الجريان (Rating curve) هذه الطريقة يمكن للقراءة المفردة للمنسوب (وهي تعمل كل يوم في وقت معين بواسطة شخص غير ماهر) أن تحول إلى معدلات التصريف ومن ثم إلى كميات محددة من المياه جارية عند نقطة القياس. إن الصعوبة في منحنى التقدير هو في إيجاد نقاط كافية وقت التصريف العالي يمكننا من إيجاد علاقة دقيقة.

## 5.2.6 تعديل منحنى التقدير:

### (Rating-curve adjustment)

لقد نوقش منحنى التقدير حتى الآن كمصطلح وهو الذي يشمل كما يبدو خطأً وسطاً مرسوماً خلال عدد متناثر من نقاط الملاحظة (القياس). إن هذا هو ليس المقصود. إذا ما دونت كل نقاط التصريف كما قيست على منسوب التصاعد أو الهبوط (Falling or Rising) فإن المنحنى سيشكل دائرة (Loop) كما هو موضح في الخط المنقط في الشكل (1.6). إن هذا الاختلاف أو مفهوم الدائرة يعزى لعدة أسباب. أول هذه الأسباب هو خزن المجرى (Channel storage). فإذا ما ارتفع منسوب سطح الماء في النهر فإن الماء سوف يخزن بصورة مؤقتة في مجرى النهر.

□ مثال (1.6):

نفرض بأن المقياس يبين ارتفاعاً بمعدل  $0.2\text{m/hr}$  خلال قياس تصريف 100 متر مكعب / ثانية وكان المجرى بشكل بحيث أن معدل الزيادة هذه ينطبق على امتداد 1000 متر من النهر ما بين موقع المقياس ومنشأ السيطرة (Reach Control) (\*).

نفرض بأن معدل عرض المجرى (القناة) على هذا الامتداد هو 100 متر. بهذا يكون معدل سرعة التغير في الخزن على هذا الامتداد ( $d_s$ ) كما هو معطى:

$$\begin{aligned} dS &= 1000 \times 100 \times 0.2 \\ &= 20,000 \text{ m}^3/\text{h} \\ &= 5.6 \text{ m}^3/\text{s}. \end{aligned}$$

(\*) إن امتداد لومنشأ السيطرة للنهر (Control) هو ذلك المقطع الذي عنده يتغير ناتج العرسي للنهر. للمعالجات الكاملة لقطاع النهر ومنشأ السيطرة وقياس التصريف انظر كتاب الجريان في المجاري (Flow in Channels) (R.H.J. Selline) الناشر «Macmillan».

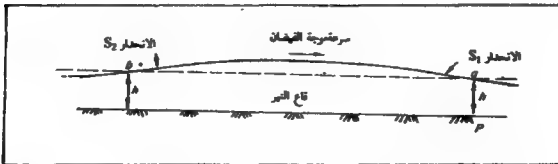
إن قياس التصريف الذي يجب أن يؤثر في منحنى التقدير هو 94.4 متراً مكعباً في الثانية (وليس 100) طالما هذا هو التصريف المار خلال منشأ السيطرة (Control) والمقابل لعدد المنسوب.

إن السبب الثاني لظاهرة الدارة في منحنى التقدير هو الاختلاف في انحدار السطح الذي يحدث خلال مرور موجة الفيضان على طول المجرى. يمثل الشكل (6.6) مقطعاً طولياً لموجة فيضان مارة على طول مجرى النهر. عندما تمر النقطة (a) خلال موقع القياس فإن المقياس سيقرى (b) والمقطع العرضي للنهر هو (A) وانحدار سطح الماء هو ( $S_1$ ). وعندما تتحرك موجة الفيضان إلى أن تصل النقطة (b) إلى موقع القياس. فإن قراءة المقياس (b) والمقطع العرضي (A) هما نفس المقادير السابقة وبينما الانحدار ( $S_2$ ) هو مختلف عن  $S_1$ . ومن تطبيق معادلة Manning

$$Q = Av = \frac{AR^{2/3}S^{1/2}}{n}$$

نحصل على تصريفين مختلفين بالنسبة للحالتين طالما كانت (S) متغيرة بينما قيم A و R و n بقيت ثابتة.

طالما أن منسوب التصاعد مرتبط بالانحدار الأكبر فإن قياسات التصريف المأخوذة خلال منسوب التصاعد سترسم إلى يمين منحنى التقدير في الشكل (1.6) وتلك المأخوذة خلال منسوب الهبوط إلى اليسار. بالاعتماد على الذروة (Peakiness) لموجة الفيضان، كثيراً ما يحدث أقصى تصريف قبل وصول أعلى منسوب طالما أن تأثير الانحدار على السرعة قد يفوق الزيادة الطفيفة في مساحة المقطع العرضي.



الشكل (6.6)  
تغير انحدار موجة الفيضان

على العموم، من الضروري تصحيح قياسات التصريف المأخوذة على طرفي موجة الفيضان إلى الظروف النظرية بحالة الثبوت (Steady state)، وذلك لأن أكثرية قراءات المنسوب تؤخذ بواسطة أشخاص غير ماهرين يومياً دون الإشارة إلى أن المنسوب في تصاعد أو هبوط، فباستعمال المنحنى المصحح أو منحنى حالة الثبوت فإن قراءات مناسيب التصاعد والهبوط ستوازن على المدى البعيد، دون الحاجة إلى تصحيح القيم أو زيارة ثانية يومياً للمقياس من قبل القارئ. إن التصحيح هذا قد يتم كما يلي:

إن التصريف في حالة الثبوت لمجرى ذي خشونة ولقطع عرضي يعطي حسب معادلة (Manning) كالتالي:

$$Q \propto \sqrt{S} \quad (1.6)$$

حيث:

$S$  = هو الانحدار في حالة الثبوت.

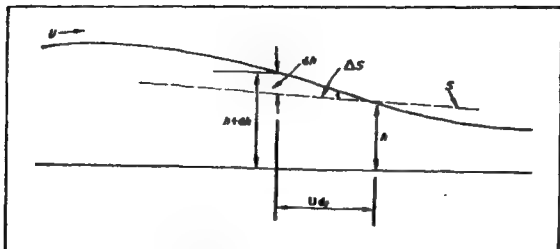
عندما لا يساوي الانحدار القيمة ( $S$ ) كما هي الحالة في ظروف منسوب التصاعد والهبوط فإن التصريف الحقيقي ( $Q_a$ ) يكون

$$Q_a \propto \sqrt{S \pm \Delta S} \quad (2.6)$$

بالرجوع إلى الشكل (7.6) من الممكن التعبير عن ( $S$ ) بدلالة معدل التغير في المنسوب وسرعة موجة الفيضان ( $U$ ). إن الشكل (7.6) يمثل موجة فيضان متقدمة ذات منسوب تصاعدي. إن قراءة المقياس عند البدء بقياس التصريف كان ( $h$ ) وفي نهاية القياس بعد زمن ( $dt$ ) أصبح ( $h+dh$ ). وفي الوقت الذي تقلعت فيه الموجة مسافة  $Udt$  و

$$\Delta S = \frac{dh}{Udt} = \frac{dh/dt}{U} \quad (3.6)$$

وتكون  $dh/dt$  موجة بالنسبة لمنسوب التصاعد وسالبة بالنسبة لمنسوب الهبوط.



الشكل (7.6)

تغير في الارتفاع لموجة فيضان مع الزمن

عند ربط المعادلات (1.6) و (2.6) و (3.6) نحصل على :

$$\frac{Q_a}{Q} = \sqrt{\left( \frac{S + (dh/dt)/U}{S} \right)} \quad (4.6)$$

$$\frac{Q_a}{Q} = \sqrt{\left( 1 + \frac{dh/dt}{US} \right)} \quad (5.6)$$

إذا استعمل عند قياس التصريف في الموقع مقياسان الأول في أسفل والثاني في أعلى الامتداد (Reach) فإن كل المقدار التي في المعادلة (5.6) من الممكن قياسها عند (Q) و (U). إن (Q) هو مقدار التصريف في حالة الثبوت وهو المطلوب إيجاد أما (U) فهو سرعة موجة الفيضان. هناك عدة طرق لتكملة الحل. أول هذه الطرق هي فرض قيمة تجريبية لسرعة موجة الفيضان. لقد اقترح (Corbett) (37) سرعة الموجة في حالة الفيضان للمجري المتظمة نسبياً تساوي 1.3 معدل سرعة الماء في النهر، أي أن

$$U = 1.3 \frac{Q_a}{A}$$

حيث (A) مساحة المقطع العرضي للمجرى.

من هذا نخلص على

$$Q = \frac{Q_a}{\sqrt{\left(1 + \frac{A \cdot dh/dt}{1.3 Q_a S}\right)}}$$

□ مثال (2.6):

قيس التصريف أثناء الفيضان وكانت  $Q_a$  تساوي 3160 متر مكعب في الثانية وخلال القياس الذي استمر ساعتين ارتفع المنسوب من 50.40 إلى 50.52 متراً. عند أخذ مناسيب سطح الماء 400 متر في أعلى و 300 متر في أسفل موقع القياس وجد بأن الفرق في المنسوب كان 100 ملم. فإذا كان عرض النهر 500 متر ومعدل العمق فيه 4 أمتار في وقت القياس. على أي إحداثيات يجب أن يرسم هذا القياس في منحنى التقدير؟

مساحة المقطع العرضي للنهر

$$\begin{aligned} A &= 500 \text{ m} \times 4 \text{ m} \\ &= 2000 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

معدل سرعة الماء في النهر

$$\frac{Q_a}{A} = \frac{3160}{2000} = 1.58 \text{ m/s}$$

لنفرض بأن سرعة موجة الفيضان

$$U = 1.3 \times 1.58 = 2.054 \text{ m/s}$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{0.12 \text{ m}}{7200 \text{ s}} = 1.67 \times 10^{-5}$$

$$S = \frac{0.1}{700} = 1.43 \times 10^{-4}$$

فالنهر في حالة التصاعد

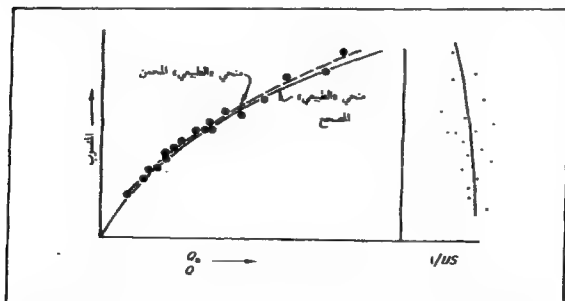
$$\begin{aligned} Q (\text{التصريف المصحح}) &= \frac{3160}{\sqrt{\left(1 + \frac{1.67 \times 10^{-5}}{2.054 \times 1.43 \times 10^{-4}}\right)}} = \frac{3160}{\sqrt{1.057}} \\ &= 3080 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

وعند أخذ معدل المنسوب للنهر تصبح الأحاديثات المصححة هي 50.64m يقابله تصريف 3080 مكعب / ثانية.

وهناك إجراء بديل متيسر أعده (Boyer) (38) حيث لا توجد حاجة لإيجاد قيم كل من U و S. فإذا ما كان هناك عدد كاف من نقاط القياس متيسرة ومن ضمنها القياسات المأخوذة خلال منسوب التصاعد والمهبط وكذلك في حالة الثبوت، ففي الإمكان رسم منحنى التقدير كخط وسيط خلال القيم غير المصححة. ومن الممكن تخمين كمية التصريف في حالة الثبوت (Q) من هذا المنحنى الوسيط. بما أن  $Q_0$  و  $dh/dt$  هي قيم في الإمكان قياسها وبالتالي فإنها معروفة فمن المعادلة (5.6) نستخرج قيم  $1/US$  لكل قياس تصريف.

عند ذلك يرسم المصطلح  $1/US$  مقابل المنسوب ويمرر منحنى معدل خلال النقاط المرسومة كما هو ظاهر في الشكل (8.6). من العلاقة بين  $1/US$  والمنسوب في الإمكان استخراج قيم جديدة لـ  $US$  وتعويض هذه القيم الجديدة في المعادلة (5.6) يستخرج التصريف في حالة الثبوت (Q) وترسم هذه القيم الجديدة للتصريف مقابل المنسوب وبذلك يكون منحنى التقدير المصحح تم اعجاده.

هناك طريقة أخرى يستعمل فيها الانحدار (S) دون الحاجة إلى قياس سرعة موجة الفيضان (U) أعدهما (Mitchell) (39).



الشكل (8.6)

طريقة لتصحيح قراءات التصريف بدون حساب  $v$  أو  $S$

## 6.2.6 تمديد منحنى التقدير :

### (Extension of rating curves)

إن أكثر الصعوبات التي يلاقونها في أخذ قياس التصريف هي في اثناء مرور الفيضان العالي كما ذكر سابقاً، وكذلك للصعوبات الفيزيائية للسرع العالية للمياه والكل الطافية وكذلك لندرة حدوث مثل هذه الحالات. كثيراً ما يحدث - كمثال - بأن الحالات التي بوجها تصمم منشآت النهر مثل السدود والجسور تعرف بأنها «تلك التي لا تحدث أكثر مرة كل مائة سنة». هذا يعني بأن المصمم الانشائي يريد أن يعرف التصريف المتوقع والذي سيحدث في المتوسط مرة كل مائة سنة، ويشار إلى هذا بعض الأحيان بأنه «فيضان المائة عام».

فإذا كان قياس التصريف قد أجرى خلال المائة سنة السابقة فسوف لا تكون هناك صعوبة في إيجاد هذا الفيضان التصميمي. لكن في أكثرية الحالات المتوفر هو قياس المنسوب فقط وإن توفرت لمدة محدودة. فإذا استطاع المهندس الهيدرليكي الحصول على قراءات يومية للمنسوب وقياسات مستمرة للتصريف لمدة ثلاثين عاماً وحتى لحالات الفيضان الواطيء فهو محظوظ. يحتاج المهندس أكثر الأحيان إلى تمديد منحنى التقدير أبعد من آخر نقطة للقياس لتخمين التصريف لمنسوب معين. وبالمناصب فإن مناسيب الفيضانات العالية تسجل أحياناً بواسطة خطوط النقاضة على الضفاف أو الأعشاب المسوكة بأغصان الأشجار التي تثبت على الشواطىء. إن مثل هذه الظواهر الطبيعية ذات قيمة جيدة.

هناك عدد من الطرق لغرض تمديد منحنى التقدير.

( I ) بواسطة مطابقة معادلة رياضية للمنحنى :

وعادة ما تستعمل معادلة بالشكل التالي :

$$Q = k(h - a)^x$$

حيث :

$h$  = هو المنسوب.

و  $(k)$  و  $(x)$  هما ثابتان ويشتقان من الجزء المتوفر من المنحنى و  $(a)$  هو الارتفاع بالامتار (أو الأقدام) بين صفر المقياس ومنسوب الصفر للجريان.

إن مثل هذا المنحنى يشكل خطأ مستقيماً على الأوراق اللوغارتمية وبهذا فمن السهولة تمديده. إن هذا الاجراء قد يكون موضع شك ظلالاً أنه ليس هناك تبرير نظري كاف لتأثير عمل مثل هذا القانون الأسّي في وقت المياه العالية حيث قد يكون هناك تغيير فجائي في المقطع العرضي للنهر مع نسوب التصاعد.

(II) طريقة (Steven's Method) (48):

إن هذه الطريقة مبنية على معادلة (Chezy):

$$Q = AC\sqrt{RS}$$

حيث:

A = مساحة المقطع العرضي.

C = معامل (Chezy) للخشونة.

R = نصف القطر الهيدروليكي.

S = انحدار خط الطاقة.

فإذا فرضت قيم (C√S) ثابتة والتعويض بدلاً من (R) معدل العمق (D) يكون

$$Q = kA\sqrt{D} \quad (7.6)$$

ترسم القيم المعلومة لـ  $A\sqrt{D}$  و Q وغالباً ما تكون قريبة من الخط المستقيم والذي في الإمكان تمديده. إن القيم المحلية لـ  $A\sqrt{D}$  والتي هي أكبر من المقيسة من منحنى التقدير قد تستعمل بعد ذلك من الخط الممدد لرسم التصريف مقابل نقطة المنسوب في منحنى التقدير.

إن الاعتراض على هذه الطريقة ببساطة هي أن قيم  $C\sqrt{S}$  ليست ثابتة. مع أنها تأخذ بنظر الاعتبار التغير الحاصل على أبعاد المجرى. إن هذا الإجراء هو أكثر منطقية من الطريقة الأولى.

(III) طريقة الانحدار - المساحة:

إن هذه الطريقة تعتمد على القواعد والفرضيات إكهايدروليكية والتي تتم عملياً بـ



أوتاد أو عمل علامات مؤقتة أخرى وقت ذروة الجريان أعلى وأسفل نقطة قياس التصريف. وتستخدم تلك العلامات لحساب انحطار الماء. إن قياس المقطع العرضي يعطينا المساحة ونصف القطر الهيدروليكي للمقطع ومن ثم باستعمال المعادلة (Manning)

$$Q = \frac{AR^{4/3}S^{1/2}}{n} \quad (8.6)$$

وتتخذ هذه الطريقة بعض الأحيان وذلك لاعتمادها على القيمة (n). وطلاً أن (n) للمجري الطبيعية هي حوالي 0.035 فإن الخطأ بمقدار 0.0001 من قيمة (n) يعطي 3% خطأ في التصريف. إن هذا الخطأ قد يواجه جزئياً برسم قيمة (n) مقابل المنسوب لكل التصاريح المقاسة وهذا فإن اختيار قيمة (n) بالنسبة للمناسيب المرتفعة سوف لا يكون اعتباطياً بل مأخوذ من مثل هذا المنحني. وإذا كان في الامكان قياس الانحدار أثناء الفيضان العالي فمن المحتمل بأن هذه الطريقة هي الأحسن.

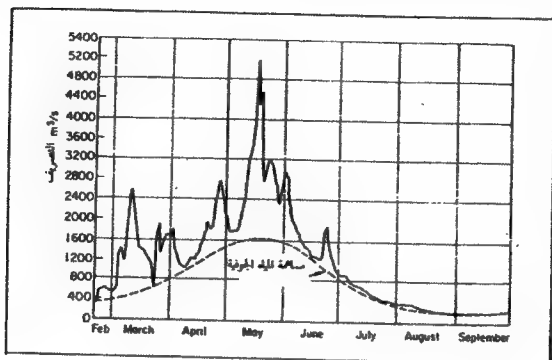
يجب التأكد على أن كل طرق تمديد منحني التقدير هي طرق مشكوك بها ببعض الدرجات ويجب أن يلجأ إليها في الحالات التي لا يمكن استخدام طرق قياس التصريف.

إن الطريقتين الآخرين معرضتان للخطأ نتيجة التغير في المقطع العرضي جراء النحر الذي يولده الفيضان والترسبات من المياه المنخفضة اللاحقة. لهذا فإن قياسات المقطع العرضي والعمق يجب أن تؤخذ قدر الامكان في نفس وقت أخذ قراءات التصريف.

### 3.6 استدامة السيلج: (Duration of runoff)

على الرغم من أن الفيضان والجفاف هي مهمة من وجهات نظر كثيرة فإنها يتجهان إلى أن يكونا ذوي امد قصير نسبياً. في كثير من التحريات المائية من المهم أن نعرف الكمية الكلية من الماء التي يجب التعامل معها في خلال حقبة طويلة من الزمن كمثل في دراسات توليد الطاقة الكهرومائية فإن سعة المحطة يجب أن تختار لتصريف معين أقل من ذروة الفيضان لأنه من ناحية أخرى إن السعة الكبيرة ستكون على الدوام مثالية. لهذا الغرض إن أكثر السبل ملائمة لغرض تقديم المعلومات هي المنحني التراكمي (Mass curve) ومنحني استدامة السيلج (Flow duration curve).

إن القراءات اليومية للمناسيب تحول بمساعدة منحى التقدير المقيس جيداً والمصحح إلى أحجام الجريان. إن مجموعة نموذجية من مثل هذه الأرقام للجريان اليومي موضحة بيانياً في الشكل (9.6).



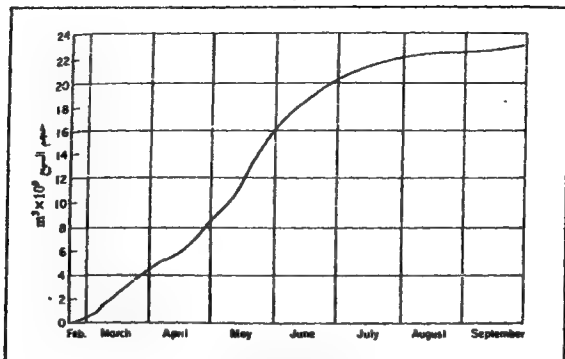
الشكل (9.6)

عظم ماء لنهر القنات في هيت (شباط - أيلول 1957)

إن مثل هذا العرض يدعى بمخطط الماء (الهائيروغراف) (Hydrograph). فإذا ما رسمت هذه الحجم مقابل الزمن وذلك بإضافة الحجم لكل يوم إلى المجموع السابق نحصل على المنحنى التراكمي للجريان، مثل هذا المنحنى موضح في الشكل (10.6).

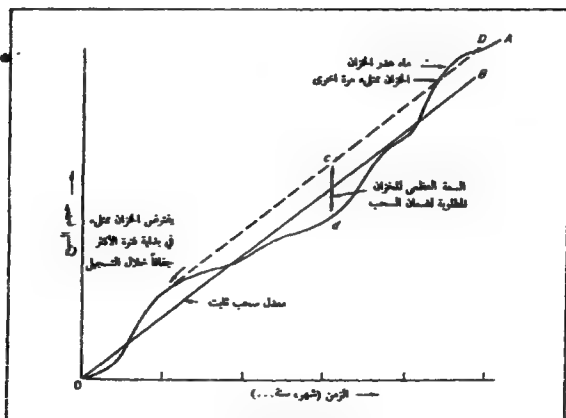
إن المنحنى التراكمي مفيد جداً في دراسات تصميم الخزانات طالما أنها تعطي طريقة جاهزة لإستخراج سعة الحزن اللازمة لمعدلات الجريان والتفريغ المعينين.

لتفرض على سبيل المثال أن المنحنى التراكمي (OA) في الشكل (11.6) يمثل الجريان من حوض والذي سيستعمل لتطوير القدرة الكهرومائية الأساسية. فإذا ما رسم المعدل الثابت اللازم للتفريغ على نفس المخطط، كالخط OB فالسعة المطلوبة للحزن اللازمة لتأمين هذا المعدل من التفريغ يمكن إيجادها برسم الخط CD موازياً



الشكل (10.6)

التسحي التراكمي للسبح لنهر الفرات في هيت (شباط - ايلول 1957)



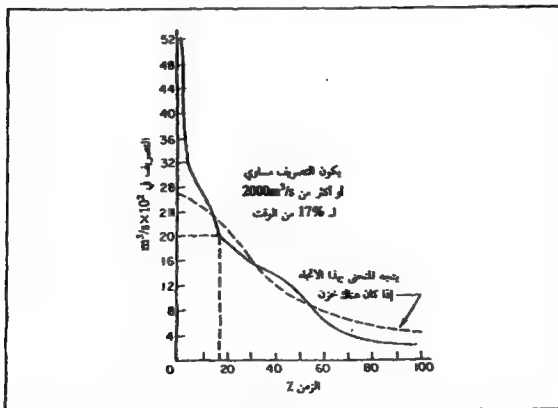
الشكل (11.6)

استعمال التسحي التراكمي في تصميم خزان

للخط OB من النقطة C في بداية أشد فترة جفاف مسجلة. وإن سعة الخزن اللازمة مينة كأكبر إحدائي (Cd). تستعمل طبعياً فترات أطول على قدر ما يسمح فيه القياس لتصميم الخزانات وفي حالات عديدة إن معدل التفريغ ليس ثابتاً ولا مستمراً. في مثل هذه الحالات، تستعمل طرق أخرى تعتمد على نفس هذه القواعد (41).

تبين منحنيات الأمد النسبة المئوية من الوقت التي تكون قيم معينة من التصاريح تساوى أو تتزايد. مبن مثل هذا المنحنى في الشكل (12.6). إن منحنى الاستدامة لفترات طويلة من الجريان مهم ومفيد لتقدير أي جزء من الجريان ويجب أن تستعمل لأغراض معينة، طالما إن المساحة تحت المنحنى تمثل الحجم. ومن الملاحظ بأن الخزن سوف يحور من استدامة الجريان في الأسلوب الموضح بالخطوط المقطعة في الشكل (12.6) حيث يقلل من الجريان العالي ويزيد المنخفض.

إن شكل المنحنى مهم حيث أن المنحنى المبسط يدل على أن النهر ذو فيضانات قليلة والذي يجهز بصورة عامة من المياه الأرضية بينما المنحنى شديد الانحدار يدل على



الشكل (12.6)

منحنى امد الجريان لنهر الفرات في هيت (مشتق من الشكل 9.6)

أن النهر ذو فيضانات وفترات جفاف متكررة وأن الجريان من المياه الأرضية قليل وتجهيز النهر في الدرجة الأولى من الجريان السطحي. إن استدامة الفيضان والجفاف المعينين وكذلك الفترة المتراكمة لقيم تصريف معينة هي أيضاً ذات فائدة وعادة ما تستخرج بشكل مباشر من مخطط الماء.

#### 4.6 صفات الجابية وتأثيرها على السيج:

(Catchment characteristics and their effects on runoff)

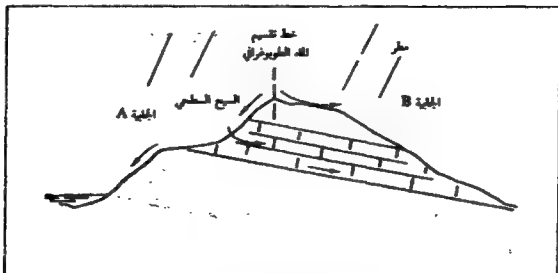
أن الوقت لمعرفة كيف تؤثر الصفات المختلفة لمساحة جابية المياه (Catchment area) على معدلات وكميات التصريف منها. ويعني بمساحة الجابية هي كل مساحة الأرض والسطوح المائية المساهمة في التصريف للمقطع العرضي للجدول أو النهر المعينين. إنه من الواضح بأن لكل نقطة من مجرى الجدول له مستجمعاً واحداً خاصاً به، وإن سعة الجابية تزداد عندما تتحرك نقطة المراقبة إلى الأسفل وأصله إلى أكبر مساحة لها عندما تكون نقطة المراقبة عند ساحل البحر.

هناك صفات عديدة لجابية المياه والتي تؤثر على الجريان وإن كلاً من هذه الصفات قد تكون موجودة بدرجة كبيرة أو صغيرة. إن الانتباه — عند تحليل هذه الصفات كلا على حدة — هو في محاولة تقدير تأثير كل صفة على السقوط والصرف اللاحق من هذه الجابية إلى مجرى النهر.

#### (أ) مساحة الجابية: (Catchment area)

إن المساحة كما عرفت في بداية هذا القسم هي عادة — ولكن ليس بالضرورة — محاطة بواسطة خط تقسيم ماء التضاريس (Topographic water-divide). إن الشكل (13.6) يوضح مقطعاً عرضياً افتراضياً خلال خط تقسيم ماء التضاريس لجابية ما. ويسبب الظروف الجيولوجية للمنطقة فإنه في الامكان للمساحات التي هي وراء خط التقسيم المساهمة في التصريف. إن الحدود الحقيقية غير محددة ومع ذلك ولو أن قسماً من المياه الأرضية في يسار خط التقسيم في الشكل قد يصل إلى الجابية (B) فإن الجريان السطحي سيمتد في الجابية (A) وهنا فإن سعة الرشح للتربة وكثافة المطر سوف تؤثر على الجزء من المطر الذي ستجمعه كل جابية.

إذا ما عبر عن الجريان، ليس كالكمية الكلية من الجابية بل الكمية لوحدة



الشكل (13.6)

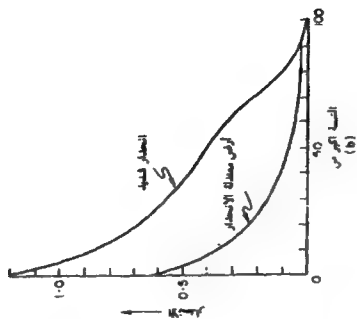
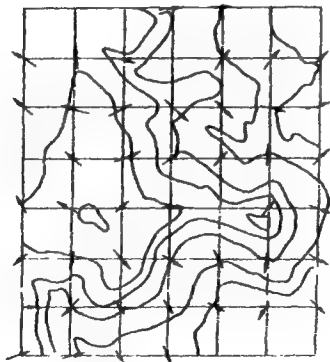
يعرف خزان الماء بواسطة علم الجيولوجي وكما في الطوبوغرافية

المساحة (عادة متر مكعب في الثانية لكل كيلومتر مربع أو قدم مكعب في الثانية لكل ميل مربع) لوحظ، إذا ما تساوت باقي المتغيرات فإن ذروة السيل تقل كلما زادت مساحة الجاية. وهذا بسبب الزمن اللازم للماء لسيير خلال المجاري المائية إلى نقطة المراقبة (فترة التركيز - time of concentration) وكذلك للمعدلات المنخفضة للمطر إذا ما زاد حجم العاصفة. (انظر الجزء 4.8.2) وبصورة مشابهة يزداد الحد الأدنى لسيل لوحدة المساحة بسبب سعة مساحة التكوين المائي الأرضي والأمطار المحلية الثانوية.

(ب) انحدار الجاية: (Slope of catchment)

كلما زاد انحدار سطح الأرض زادت سرعة حركة مياه السيل السطحي وهذا فإن فترة التركيز ستكون أقصر وتكثر ذروات الفيضان. إن سعة الرشع تميل إلى الانخفاض كلما زاد الانحدار طالما أن النباتات النامية تكون أقل كثافة والتربة أكثر سهولة للتربة فإن هذا يبرز ويزيد السيل.

يعد الانحدار بواسطة تغطية الخارطة الكتورية لجاية بشبكة خطوط مستقيمة متساوية (Rectangular grid) ويقيم الانحدار العمودي على الخطوط الكتورية كما هو واضح في الشكل (A14.6). إن توزيع التكرار (Frequency Distribution) لهذه الأرقام قد ترسم عندئذ كما في الشكل (B14.6). وتقارن الجايات المختلفة على

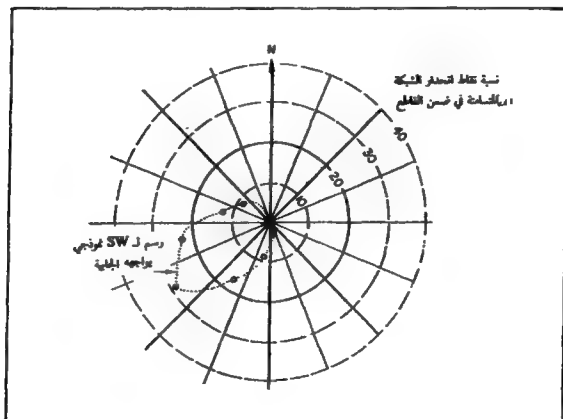


الشكل (14.6)  
 (a) شبكة مساحة لتقييم الانحدار واتجاه الجاذبية  
 (b) منحنيات الفترات لمقارنة الانحدار الشديد للبيانات.

نفس الرسم البياني. إن منحني التكرار الحاد نسبياً يدل على الجايات ذات السبح السرب والعكس بالنسبة للمنحنيات المنبسطة.

### (ج) اتجاه الجاية: (Catchment orientation)

إن الاتجاه مهم في كل ما يتعلق بالأحوال الجوية للمساحة التي تقع ضمنها الجاية. فإذا كانت الرياح السائدة وخطوط حركة العواصف لها غط فصيل معين - كما يكون ذلك عادة - فإن خطط مياه السبح سيعتمد في بعض الدرجات على اتجاه الجاية ضمن المخطط (Pattern) وإن الشبكة المتسامة في الشكل (A14.6) يمكن أن تشمل لهذا الغرض أيضاً بواسطة تقييم الزوايا بين اتجاه الانحدار وخط الطول (شمال-جنوب مثلاً) لكل نقطة من الشبكة وبالتالي رسم خطط التكرار الدائري كما في الشكل (15.6) والمشباه لوردة الرياح (Wind Rose).



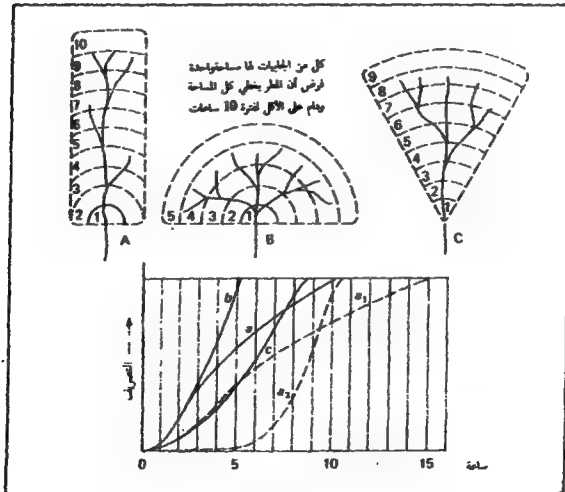
الشكل (15.6)

خطط الاتجاه



(د) شكل الجباية: (Shape of catchment)

إن أحسن امكانية لتوضيح تأثير الشكل يكون بدراسة مخططات الماء من ثلاث جبايات مختلفة الشكل متساوية المساحة (الموضحة في الشكل (16.6) والمتعرضة لمطر ذي شدة واحدة). فإذا ما قسمت المساحات إلى قطع دائرة متحدة المركز والممكن وفرض أنها تحتوي على كل النقاط ضمن مساحة متساوية على طول المجرى من نقطة المراقبة. لقد لوحظ بأن الشكل (A) يحتاج إلى 10 وحدات (ساعات مثلاً) ليمر قبل أن تساهم كل نقطة في الجباية في التصريف وبصورة مماثلة فلان (B) تحتاج إلى 5 ساعات و (C) إلى 8 ساعة. إن مخططات ماء السبع الناتجة ستكون مشابهة لتلك المبينة في الشكل (16.6)، والمؤشرة بعرفها الصغير. إن المساحة (B) تعطي ارتفاعاً أسرع للتيار من (C) و (A) وكذلك هبوط أسرع بسبب الوقت الأقصر للانتقال.



الشكل (16.6)  
تأثير الشكل على سبع الجباية

إن عامل الشكل هذا يؤثر كذلك على السحب عندما لا تغطي العاصفة كل مساحة الجابية مرة واحدة بل تتحرك من طرف إلى آخر، كمثال، تأمل مساحة الجابية (A) الذي تغطي بصورة تدريجية بواسطة عاصفة تتحرك إلى الأعلى والتي ستغطي كل المساحة بعد 5 ساعات. إن الفيضان المقدم من آخر قاطع سوف لا يصل إلى نقطة المراقبة قبل 15 ساعة من بداية العاصفة، بحيث أن مخطط الماء (a) في الشكل (16.6) الآن سوف يأخذ شكل المنحنى (b) في الشكل نفسه. وبصورة مماثلة إذا كانت العاصفة تتحرك في نفس المعدل إلى الأسفل فإن الفيضان المقدم من جزء - الوقت 10 سيصل إلى نقطة القياس بعد 5 ساعات فقط من التي في القاطع (1). وهذا سيحدث لارتفاعاً سريعاً للفيضان (b) في الشكل (16.6). إن تأثير التغير في اتجاه حركة العاصفة على شكل الجابية نصف الدائري والملاهي يكون ملحوظاً بصورة أقل من الأشكال السابقة ولا يزال بالإمكان تقديره.

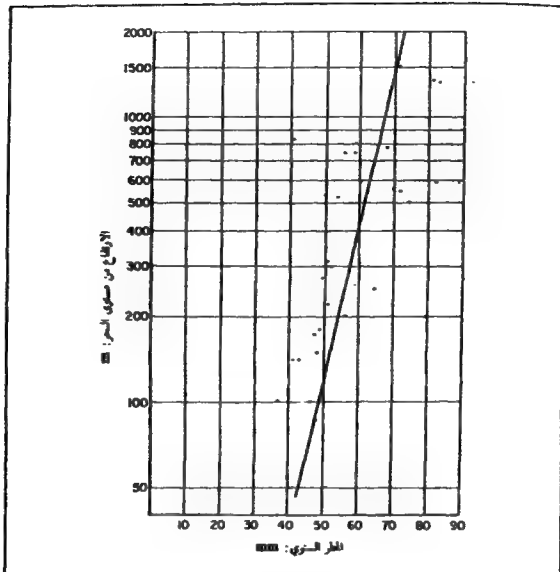
#### (هـ) ارتفاع الجابية: (Altitude of the catchment)

إن السقوط، بصورة عامة - يزداد بالارتفاع ولو أن بعض الجابيات المنفردة تظهر اختلافات واسعة عن القواعد العامة. والشكل (17.6) يوضح هذا الاتجاه بالنسبة لجنوب - غرب اسكتلندا. لكن الأهمية الكبرى هي في تأثير قلة التبخر في درجات الحرارة الواطئة والحزن المؤقت للمساكنات كالتلج والجليد. إن هذا يؤثر على توزيع المعدلات الشهرية للسحب وتقليلها إلى الحد الأدنى في الشتاء وفي الطقس البارد.

لهذا هناك تأثيرات متوازنة بزيادة الارتفاع وتعتمد سيادة أي واحدة على المناخ السائد. إن المقارنة بين الجابيات المختلفة قد تتم بواسطة رسم توزيع التكرارات لنسب مساحة الجابية التي هي في أو أعلى من ارتفاع معين.

#### (و) مخطط المجرى: (Stream pattern)

إن مخطط تطور الجداول في الجابية له تأثير ملحوظ على معدلات السحب. إن الجابيات جيدة الصرف سيكون لها فترة تركيز قصيرة وبالتالي مخطط ماء ذو ارتفاع فيضان شديد الانحدار بالمقارنة مع جابية ذات منخفضات سطحية عديدة ومستنقعات وبحيرات صغيرة مثلاً. من الصعوبة جداً تحويل مخططات الصرف المعنية إلى أرقام لكن في الامكان عمل المقارنة بدلالة كثافة المجرى وهي أطوال الجداول في وحدة



الشكل (17.6)

التوافق بين الارتفاع والمطر السنوي بجنوب غرب اسكتلندا

المساحة ومعدل الطول للروافد أو معدل طول السبخ السطحي على الأرض (الجريان إلى أقرب مجرى مائي). من الطبيعي أن يلعب علم الأرض (الجيولوجيا) دوراً في تكوين الجداول. لهذا يجب دراسة كلا من الخرائط الجيولوجية والطوبوغرافية في تحديد التأثير للمخططات المختلفة.

(ز) عوامل أخرى:

بالإضافة إلى العوامل الرئيسية المفصلة اعلاه، فإن العوامل التالية ستؤثر على

معدل والكمية الكلية للسيح السطحي وبهذا فإنها تؤثر على مقدار ذروات الفيضان وشكل غطط الماء.

- 1 - حالة مجرى النهر - نظيف أو معشوب أو مليء بالعشب.
- 2 - وجود الخزانات والبحيرات ومسطحات الفيضان أو المستنقعات وغيرها (انظر الفقرة (و) أعلاه).
- 3 - استعمال الأرض سواء أكانت مزروعة أم جرداء أو معشوبة أو مكسوة بالنبات ولها صرف صناعي وغيرها.
- 4 - حالات التربة تحت السطح وتشمل رطوبة التربة الابتدائية وارتفاع مستوى الماء الأرضي وعمق ونفاذية الحشرج وسعة الرشح.

#### 5.6 العوامل المناخية: (Climatic factors)

أشير في الجزء (4.6/د) إلى تأثير حركة العاصفة على السيح. فإذا كانت العاصفة منتشرة بحيث لا تغطي كل مساحة الجاية فإن السيح السطحي سيكون أقل مما لو كانت التغطية كاملة للمساحة.

في الجزء (4.6/هـ) أُشير كذلك إلى تأثير أشكال السقيط حيث أن الثلج ودرجات الانجماد تستطيع بصورة فعالة وضع الجريان السطحي المتوقع في حالة خزن وتقليل كمية التبخر-نتح.

مع كل هذا فإن التأثير الرئيسي للمناخ هو في شدة المطر واستدامته (Duration). إن لشدة المطر علاقة مباشرة بالسيح، ما أن تتجاوز الشدة سعة الرشح فإن المطر الزائد سيصبح متيسراً ويسيل إلى مجاري المياه السطحية.

إن الشد متفاوتة في الاختلاف وإن الشدة القصوى تحدث عادة في عدة عواصف محلية. من المحقق أن الحد الأعلى الذي سيسجل سيحدث عن طريق الصدفة فقط لهذا فمن الطبيعي أن الشدة العليا المسجلة تكون قد تحطت لعدة مرات. أن (Jenning) (42) ومن بعده (Paulhus) (87) قد جمعا أعلى قيم مسجلة للمطر وأن قسماً من هذه البيانات موضحة كالتالي:

التاريخ	المحطة	العمق		الاستدامة
		بالانجبات	بالستمرات	
4 تموز 1956	Unionville Md., U.S.A.	31	1.23	1 دقيقة
7 تموز 1889	Curtea de Arges, Rumania	206	8.10	20 دقيقة
16/15 آذار 1952	Cilaos, La Reunion	1870	73.62	24 ساعة
تموز 1861	Cherrapunji, India	9300	366.14	31 يوم

إن أعلى شدة للمطر مسجلة في الجزر البريطانية مدرجة ادناه

التاريخ	المحطة	العمق		الاستدامة
		بالانجبات	بالستمرات	
23 أيلول 1977	Chagford	33	1.30	10 دقيقة
12 تموز 1901	Maidenhead	92	3.63	حوالي 60 دقيقة
11 حزيران 1956	Hewenden Reservoir	100	6.09	101 دقيقة
18 تموز 1955	Martinstown, Dorest	279	11.00	حوالي 14 1/2 ساعة (*)

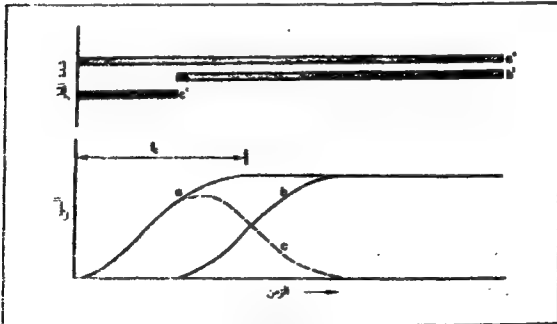
طالما أن الشدة يعبر عنها بالعمق / الزمن فإنه من غير المستطاع أخذها بنظر الاعتبار منفصلة عن الاستدامة (Duration).

إن نفس عمق المطر المستلم في استدامتين مختلفتين يعطيان معدلات جريان مختلفة تماماً. ماذا يمكن القول لو أن مناخين مختلفين يتجان ظروفاً جوية (ميتيرولوجية)

(\*) العاصفموضحة في الشكل (12.2).

مختلفة ومؤدية إلى نوعيات مختلفة من المطر والتي ضمنياً ما استدامة متباينة نسبياً. على سبيل المثال، عاصفة في انكلترا قد تسبب شدة مطر مقدارها 20 ملم / دقيقة ولكن ليس من المحتمل أن تستمر هذه عاصفة لأكثر من فترات قصيرة معدودة مقاسة بالدقائق بينما المطر الموسمي (Monsoon) في الهند يستمر في المطول لأسابيع بمعدل شدة تزيد على 10 ملم / دقيقة. من غير الممكن الوصول إلى مثل هذه الحالة في أكثر أجزاء العالم (انظر أيضاً (9.6)).

من الممكن ملاحظة تأثير الاستدامة على خطط الجريان من الشكل (18.6)، حيث أن عاصفة ذات شدة منتظمة تسبب ارتفاعاً في خطط الماء كما في (a). تعرف مثل هذه العواصف بكونها تغطي كل مساحة الجاية إلى جانب أن عمق المطر هو ثابت إلى حد ما ويعطي معدلات ثابتة للسيح. ولو أن هذه الظاهرة نافذة في الطبيعة لكنها تستعمل في علم الهيدرولوجي لإيجاد صفات الجاية. حيث بعد زمن معين (ب) (فترة التركيز) يصبح معدل السيح ثابتاً. إن خطط الماء في هذا الشكل هو نموذجي للجائيات الصغيرة جداً مثل المساحات المبلطة في المدينة حيث يكسب هذا السيح الغالب بصورة سريعة. إن الجائيات الطبيعية صغيرة أو كبيرة لها فترة تركيز أطول - كقاعدة عامة - من فترات التركيز لأمطار ذات شد مطر منتظمة. من المستطاع



الشكل (18.6)

خطط ماء لعاصفة ذات فترة قصيرة مشتق من عاصفين ذات امد طويل وشدة منتظمة

إيجاد تأثير الفترات القصيرة للمطر على غطاء الماء بطرح غطاء الماء لفترتين طويلتين تزيد على (1c) ومتفصلتين الأول عن الثاني بفترة قصيرة من الوقت.

في الشكل (18.6) (a) و (b) متشابهان وهما نتيجة للأمطار (a') و (b') بالتعاقب. إن نتيجة طرحهما ينتج المطر ذا الفترة c' وغطاء الماء الناتج (c) الذي هو ذو شكل نموذجي لأكثر غطاءات المياه للمجاري الطبيعية.

## 6.6 العلاقة بين المطر / السيل:

(Rainfall / Runoff correlation)

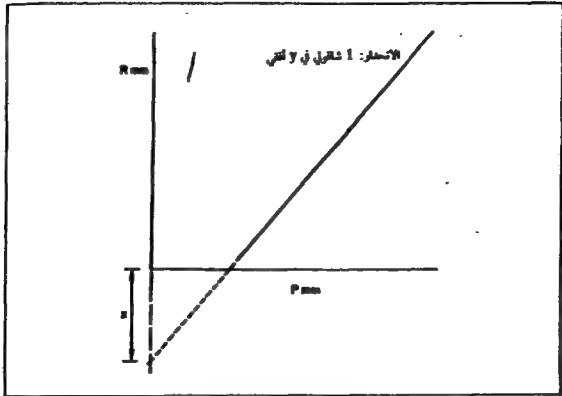
طالما هناك قواعد عامة للأسباب والتأثيرات بين المطر التساقط والسيل الناتج عنه فإنها من الواضح الآن بأن العلاقة بينهما غير مباشرة. في الوقت الذي يؤخذ فيه التبخر والماء المعترض وخزن المنخفضات في الرشح والتقص في رطوبة التربة بنظر الاعتبار وإن المطر المتخلف في شد مختلفة ينطبق على جايات متغيرة بالحجم والانحدار والشكل والارتفاع وجيولوجية تحت السطح والمناخ، فإن العلاقة يجب أن تشمل قيماً قصوى والتي تتحدى العلاقة المنطبقة لفترة قصيرة في الأقل.

على الرغم مما سبق، فإنه من الممكن إقامة علاقة تجريبية (Imperial) للجاية المعينة مبنية على أساس التساقط السنوي والجريان. ومن الأفضل استعمال السنة المائية بدلاً من السنة التقويمية لإقامة هذه العلاقة والسنة المائية هي عبارة عن فترة 12 شهر تبدأ وتنتهي في فترة الجريان الفصلي الأدنى. فإذا ما رسم التساقط مقابل الجريان كعمق على الجاية فمن الممكن استخراج علاقة بينهما كذلك الموضحة في الشكل (19.6). إن هذه العلاقة تكون كخط مستقيم في المناخ المعتدل والاستوائي الرطب. فإذا كان P هو كمية المطر التساقط السنوي فإن الجريان السنوي R يعبر عنه بالمعادلة التالية:

$$R = \frac{P}{Y} - x \quad (7.6)$$

إذ في الامكان استعمال كمية التساقط السنوي لإيجاد كمية تقريبية أولية للجريان السنوي.

إن الانحراف عن الخط المستقيم قد يكون بسبب الظروف في السنة السابقة والتي أعطت مناسيب ملحوظة أعلى أو أخفض للمياه الأرضية. في الامكان استعمال



الشكل (19.6)  
توافق المطر / السحب

هذه الطريقة للأشهر الممطرة في المناخ الرطب عندما تكون الأرض مشبعة لكنها غير سارية للمفعول في ما وراء نطاق مثل هذه الحدود الضيقة. ولو أن تطبيق العلاقة مثل المعادلة (7.6) هي محلولة إلا أنها قد تصبح طريقة مفيدة لتخمين السحب السنوي الكلي من جابيات ليس فيها أجهزة قياس مطر إذا كانت مشتتة في المناخ وذات حجم وظروف متشابهة.

إن التحسين الإضافي لهذه الطريقة ممكن وذلك بأخذ الفترة المعينة من السنة ودليل التبطل (Antecedent precipitation Index) (أنظر الجزء 2.4.4) واستدانة العاصفة بالإضافة إلى العمق بنظر الاعتبار حتى يمكن اشتقاق العلاقة لعاصفة معينة على جابية معينة. في الامكان انتاج منحنيات متحدة المراكز (Coaxial graph) والتي تأخذ كل التغيرات المختلفة بنظر الاعتبار. إن مثل هذه العلاقة موضحة في الشكل (7.4).



## تحليل مخطط الماء (الهيدروغراف)

### Hydrograph Analysis

#### 1.7 عناصر مخطط الماء الطبيعي :

(Components of a natural hydrograph)

إن العناصر المختلفة المساهمة في مخطط الماء الطبيعي مبينة في الشكل (1.7). لنبدأ بوجود جريان أساسي فقط، بمعنى آخر، إن إسهام المياه الجوفية من الحشائر المحاذية للنهر سيقل تصرفها أكثر وأكثر مع الوقت. مخطط الماء للجريان الأساسي هو قريب إلى منحنى أسي (Exponential curve) وربما تمثل الكمية في أي وقت بشكل قريب جداً بـ

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$$

حيث أن:

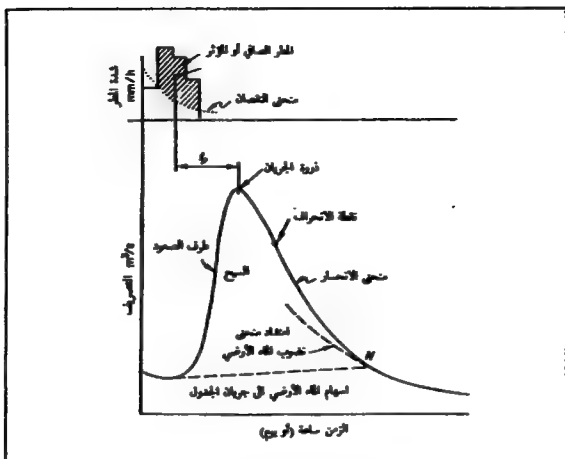
$Q_0$  = التصريف في فترة البداية.

$Q_t$  = التصريف في نهاية الوقت  $t$ .

$\alpha$  = معامل الحشرج.

$e$  = أساس اللوغارتم الطبيعي.

في لحظة بدء المطر توجد فترة ابتداء لاعتراض وترشيح قبل وصول أي سيح مقاس إلى مجرى القنوات وخلال فترة تساقط المطر تأخذ تلك الضائعات بالنقصان باستمرار كما شرحت سابقاً. وعليه يجب أن يعدل مخطط المطر (Rain graph)



الشكل (1.7)  
أجزاء عناصر مخطط الماء الطبيعي

ليبين المطر الصافي أو المؤثر. إما ما بعد الضائعات البدائية، يبدأ السيلح السطحي ويستمر إلى القيمة الذروة والتي تحدث في الوقت  $t_p$  المقاسة من مركز الجاذبية لمخطط المطر الفعلي أو الصافي. وبعد ذلك ينخفض على طول طرف الانحسار (Recession limb) حتى ينحني كلياً. في نفس الوقت يؤدي الرشح الذي يكون مستمراً خلال فترة المطر الكلية برفع مستوى الماء الجوفي والذي بعد ذلك يساهم أكثر في نهاية جريان العاصفة من بدايتها لكن مرة أخرى ينخفض على طول منحنى التصفية (Depletion curve).

يفترض أن السيلح السطحي، الأكثر ملائمة، يحوي على عنصرين آخرين: سقيط القناة (Channel precipitation) والجريان الداخلي (Interflow). سقيط القناة هو ذلك الجزء من سقيط الجابية الكلي الذي يسقط مباشرة على سطوح الجدول والنهر

والبحيرة. عادة يكون صغير لكن إذا كان في الجبلية بحيرات كبيرة ربما يكون مهم نسبياً ومن ثم يحتاج إلى معالجة منفصلة.

ينطبق الجريان الداخلي على الماء الذي يسير أفقياً خلال الأتق العليا للتربة وربما في ميازل حقلية اصطناعية أو أوعية صلبة كلياً أو طبقت لها نافذة مباشرة تحت السطح. يختلف هذا الجريان ربما من لا شيء إلى جزء ممكن تقديره من السطح الكلي.

بما أن مساهمة المياه الجوفية في جريان الفيضان مختلفة نسبياً في الأسلوب عن السطح السطحي، فعليه يجب أن يحلل بصورة منفصلة وإن أول مستلزمات تحليل مخطط الماء هو إذن فصل الـ (المياه الجوفية والسطح).

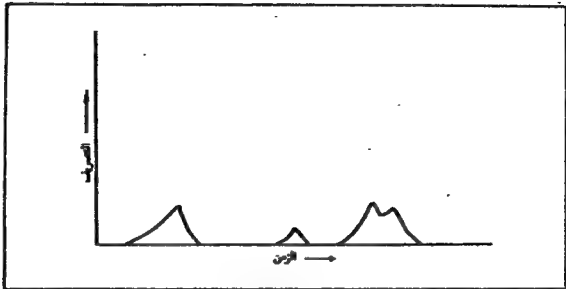
## 2.7 مساهمة الجريان الأساسي في تصريف جدول:

(The contribution of baseflow to stream discharge)

طالما يمثل الجريان الأساسي تصريف الحشرج، فحصل تغيرات بشكل بطيء وتوجد فترة فاصلة بين التسبب والتأثير والذي ربما يسلطه يمتد إلى فترة أيام أو أسابيع. وسيتمدد هذا على استقال الحشرج (Transmissibility) الذي يمد الجدول والمناخ. وإن بعض الحالات الطبيعية اللاحدة أخذت بنظر الاعتبار هنا.

يجب أن يعمل تميز حاد بين المجرى المغذي (Influent stream) والمجرى المنبعث (Effluent stream). المجرى المغذي هو المجرى الذي فيه الجريان الأساسي سالب، بمعنى آخر، يغذي المجرى المياه الجوفية بدلاً من الاستلام منه. على سبيل المثال، تعمل قنوات المجرى كمجاري مغذية وحدة أنهار طبيعية تعبر مناطق صحراوية كذلك. ونحدث المساهمة العكسية على حسب مساهمة الحشراج في الأجزاء الأخرى من المجرى، طالما عدم تواجد جريان أساسي من المجرى المغذي يرمته. مثل هذا المجرى على سبيل المثال، الجزء الشرقي الأوسط من وادي (Wadi)، يحف تماماً في فترة الجفاف ويطلق عليه سريع الزوال، وله مخطط مائي كما هو في شكل (2.7).

أما المجرى المنبعث يتغذى بواسطة المياه الجوفية ويعمل كمبزل للحشراج الحاذي له. والأغلبية العظمى من الأنهار في بريطانيا وأوروبا من هذا الصنف.



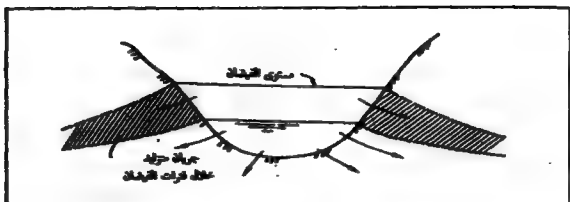
الشكل (2.7)  
مخطط ماء لجداول سريع الزوال

السيول (Intermittent streams) هي تلك المجاري التي تعمل كمجاري مغذية ومجاري منبعثة حسب الفصل، ويميل إلى الجفاف في فصل الجفاف.

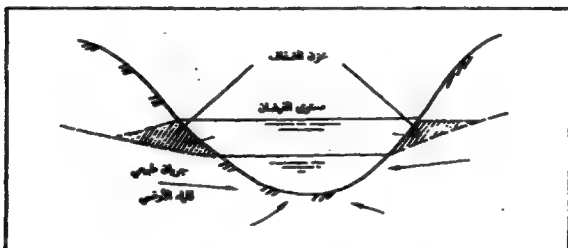
المجاري الدائمة (Perennial streams) هي في الأغلبية الكثيرة، لها جريان قليل في فصل الجفاف مغذية بجريان أساسي وبصورة رئيسة بمجاري منبعثة، وخلال عدة أشهر دائمة مختثرة تراكمات جيولوجية مختلفة لها تغذية مختلفة ومعرضة إلى ظروف جوية مختلفة تكون معاً مجاري منبعثة ومغذية في مناطق مختلفة من سيرها. ومثال جيد على ذلك هو نهر الفرات في القطر العراقي.

يبين الشكل (9.6) مخطط الماء لجزء سنوي لنهر الفرات وربما يلاحظ التغير الفصلي البطيء للجريان الأساسي. ويستمر جريان الأساس مبدئياً في أعالي المياه للجالية في شمال العراق، تركيا وسوريا. في هيت، حيث يلاحظ من مخطط الماء إن النهر في أغلب السنة هو مغلى.

يصف تخزين الضفاف (Bank storage) الجزء من السبح في فيضان ناهض والذي امتص من قبل طبقات متاخمة مغلة لمسار ماء أعلى من مستوى الماء الأرضي الطبيعي. موضح في الأشكال (3.7) و (4.7). في الشكل الأخير تبين اتجاه الأسهم تدفق الماء الجوفي إلى المجرى وستعكس خلال فترة الفيضان بينما مستوى سطح المجرى



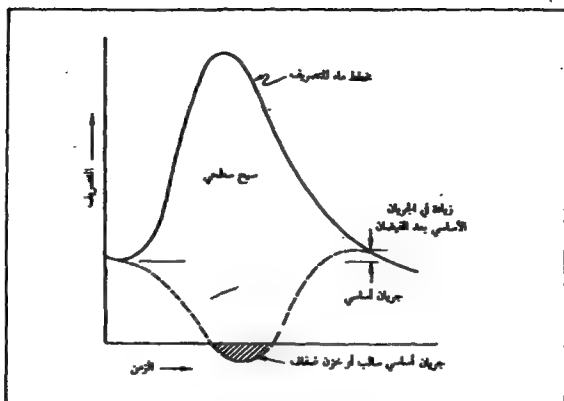
الشكل (3.7)  
جري منقح



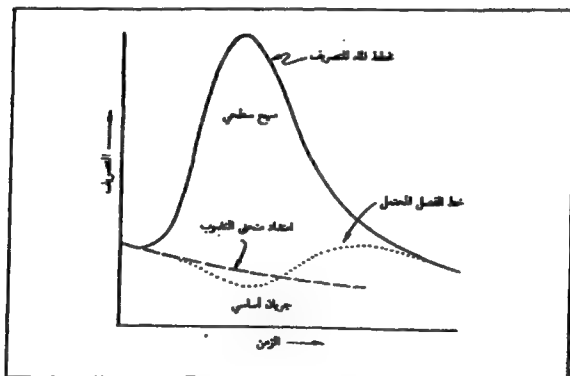
الشكل (4.7)  
جري نبعث

أعلى من مستوى الماء الأرضي . ونتيجة فإن غطط الماء الفيضان معين ربما يجري وشكل جيد على جريان أساسي مساهم كما هو مبين في الشكل (3.7) . كمثل هذا الفصل غير محتمل عملياً كما لكن يصح نوعاً .

في عدة أنهار طبيعية ، معتمدة طبيعياً على تقاذية الضفة وانحدار مستوى الماء الأرضي ، سيكون التغير في الجريان الأساسي أقل بكثير من ما هو مبين في الشكل (5.7) وبسبب في انخفاض طفيف من امتداد منحني الضرب ، تبعه زيادته تدريجاً إلى أعلى من القيمة البدائية كما هو مبين في الشكل (6.7) .



الشكل (5.7)  
جريان أساسي سالب



الشكل (6.7)  
فصل جريان الأساسي

### 3.7 فصل الجريان الأساسي والسيح:

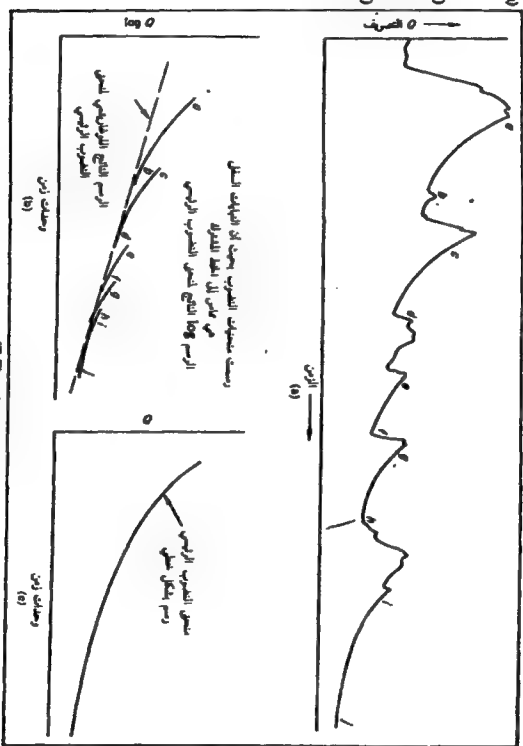
(Separation of baseflow and runoff)

بين في الفقرة السابقة (2.7) بأن خط التقسيم بين السيح والجريان الأساسي غير عدد ومن الممكن أن يتغير إلى حد كبير. طالما يحتاج التحليل للموضع الدقيق للخط المستقيم معرفة مفصلة لجيوهيدروولوجية الجبلية، والمتضمنة الامتداد المسامي واستقلال الحشرج (Transmissibility of the aquifer)، تستعمل بصورة عامة أكثر عملياً تكنيك الفصل المتناسك (Consistent Separation Technique) وتعتمد على المعلومات المتوفرة والتي استعملت بالتالي.

إذا كان تسجيل تصريف مجرى متوفراً بصورة مستمرة خلال فترة لعدة سنوات فمن المستطاع رسم مخطط الماء كنمط الشكل (a7.7). ويتم اختبار للأجزاء المتضمنة منحنيات الانحسار المتصلة بمساحة جريان الأساسي فقط، بعد أن يتوقف السيح، في عدة مراحل مختلفة محتملة. وأخذت تلك الأقسام من مخطط الماء المتصل ورسمت مرة أخرى على  $\log Q$  مقياس عمودي ومقياس زمني خطي، كما هو موضح في الشكل (b7.7). ابتداء من الجريان الانحسار الأقل في السجل، رسم الآن منحنى تماس للأجزاء السفلى (في معنى آخر، منحنى التصوب الحقيقي) للرسم البيانية لـ  $\log Q$ . وتعمل هذه العملية ببساطة بواسطة تحريك ورقة شفافة على الرسوم البيانية، مع مطابقة الأحداث السحي، حتى يتوافق كل رسم بياني  $\log Q$  في قيمة زائدة متعاقبة مع المنحنى المنشأ ويمتد للأعلى جزئياً. ومن الممكن تحويل منحنى التماس الذي ثبت مؤخراً للمرحلة الأعلى إلى مقياس خطي عمودي ويدهى منحنى التصوب الرئيسي (Master depletion curve) لمحطة قياس معينة. تطبق ربما الآن ذلك على مخطط الماء لفترة عاصفة معينة بنفس الحالة الميئة في شكل (8.7) بحيث تتوافق منحنيات التصوب معاً في النهايات السفلى وفي نقطة الاحتراق المؤشرة بـ  $N$ . تمثل  $N$  النقطة التي انتهت فيها السيح السطحي فعلياً وقد رسم خط مستقيم إلى هذه النقطة من نقطة الصعود المفاجيء. هذا الخط، المين في شكل (8.7) كخط متقطع، يمثل خط الأساس لمخطط الماء للسبح السطحي ومن الممكن بعد ذلك.

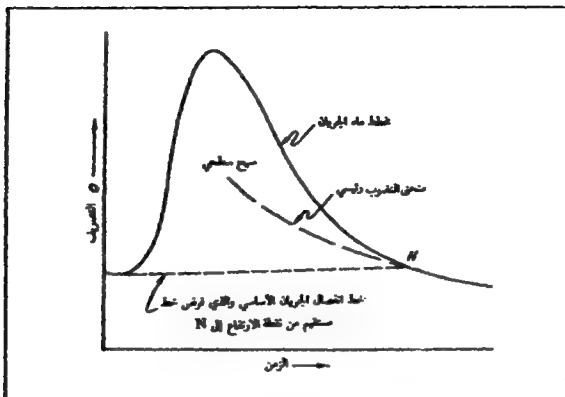
بيننا الطريقة الميئة في اعلاه يحتمل أن تكون أحسن التوفر، وتعتمد على معلومات ملاحظة مسبقة والتي تكون دائماً متوفرة. وطريقة بديلة هي إنشاء نقطة الانحناء العظمى على طرف الانحسار لمخطط الماء. ربما هذا أكثر بساطة معمول

- (a) حفظ ماء طبيعي مع قطرات  
من منسجات المنظوف  
(b) رسم تالي لوطاركي منسجات  
المنظوف  
(c) رسم خطي لمنسجات المنظوف  
الرئيسي



الشكل (7.7)  
العلاقة بين منظوف رئيسي

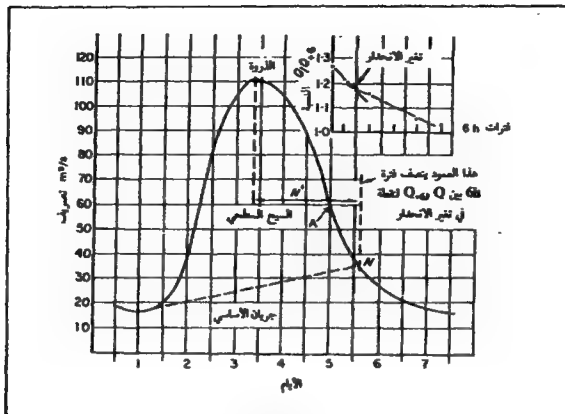




الشكل (8.7)  
طريقة عمل قص جريان الأساسي

بحساب النسبة بين  $Q$  في أي وقت وكل 2 ساعة (أو أي فترة مناسبة) بعد. مشرح مثال الطريقة. الشكل (9.7) هو مخطط ماء ملاحظ لنهر خلال فترة لعدة أيام. المراد فصل السطح السطحي وجريان الأساسي. ابتداءً من نقطة  $A$  واستعمال 6 ساعات لفصل النسب متعاقبة، الحسابات مينة في جدول (1.7).

ربما يشاهد من الخط البياني الصغير لنسبة - فترة الوقت على الشكل (9.7) انحداران ظاهران، الأعلى يرتبط مع السطح والآخر مع تصريف المياه الجوفية. وفي نقطة تقاطعها، من الممكن إيجاد النسبة المخرجة والنقطة الأولى خلف منطقة التقاطع على جهة المياه الجوفية تعطي موقعاً مستقلاً  $N$ . تحليل مخطط الماء التالي غير حاسس جداً للموقع المضبوط  $N$  وإن 0300 أو 0600 ساعة في يوم، سيكون مرضياً. ورسم الآن خط مستقيم إلى  $N$  من النقطة التي ابتداءً منها مخطط الماء بالارتفاع، كما سبق. من الممكن الحصول على كمية السطح الكلية وذلك بقياس المساحة تحت المنحنى وبين الخط المستقيم.



الشكل (9.7)  
طريقة أخرى لتصل جريان الأساسي

الجدول (1.7)  
حسابات لتساعد في إيجاد N

النسبة $\frac{Q}{Q_{0.6}}$	$Q_{0.6}$ $m^3/s$	$Q$ $m^3/s$	الساعة	اليوم
1.27	47.5	60.1	1200	5
1.22	39.0	47.5	1800	
1.18	33.2	39.0	2400	
1.16	28.6	33.2	0600	6
1.13	25.2	28.6	1200	
1.11	22.7	25.2	1800	
1.09	20.9	22.7	2400	
1.06	19.7	20.9	0600	7
1.04	18.9	19.7	1200	
1.04	18.2	18.9	1800	
		18.2	2400	

إن موقع N مهم أيضاً في مخططات الماء المركبة، والتي ستشاهد في الجزء (10.7)، طالما تعرف جزئياً طول الأساسي (Base length) لمخطط الماء.

يجمع طول الأساسي للجزء قبل الذروة، والتي تعتمد على طول فترة المطر و، فترة التركيز وطرف الانحسار بعد الذروة والتي تعتمد قبل كل شيء على خاصية الجاية. من ملاحظات لعدة جايات طبيعية فإن موقع N ربما يتشأ تجريبياً، من جدول (2.7) المعطاة بالأيام بعد ذروة الفيضان.

#### الجدول (2.7)

مساحة الجاية كدليل لـ N

الزمن من الذروة إلى N بالأيام	مساحة الجاية $Km^2$
2	250
3	1250
4	5000
5	12500
6	25000

#### 4.7 مخطط الماء القياسي:

(The Unit hydrograph)

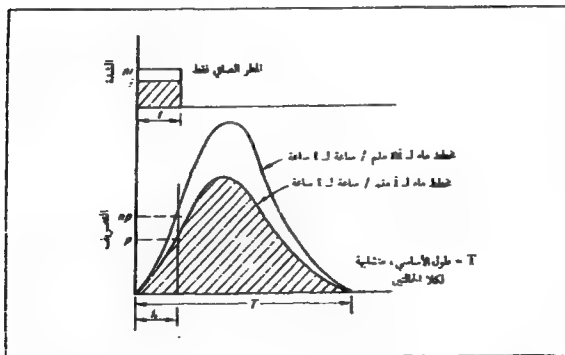
اشتق مخطط الماء للسيح السطحي بالطرق التي شرحت في الأقسام السابقة، والمشكلة التي تطرح الآن هي كيف يستطاع الربط بعلاقة مع المطر المسبب له؟ بوضوح، إن كمية وشدة المطر لها تأثير مباشر على مخطط الماء لكن لحد الآن لم يعرف بشكل واضح كيف؟ وإلى أي حد تأثير كل منها عليه؟ الطريقة التي تعمل هي تجريبية جزئياً ونظرية جزئياً والتي تستعمل فكرة مخطط الماء القياسي (Unit hydrograph) أو (Unitgraph) وشرحت أول مرة من قبل (Sherman) (43).

يجب التأكيد على أن العلاقة المطلوبة بين المطر الصافي أو المؤثر بمعنى آخر، المطر الذي يبقى كسيحاً بعد السماح لكل الفاقدرات من التبخر والاعتراض والرشح والسيح السطحي (بمعنى آخر غطط الماء للسيح ناقص جريان الأساسي).

تضمن الطريقة ثلاثة مبادئ، والتي هي كما يلي:

1 - مع شدة متجانسة لمطر صافٍ على جابية معينة، تتج شدد مختلفة لمطر لنفس الاستدامة سيح لنفس فترة الزمن، مع أنها لكميات مختلفة. هذه قاعدة تجريبية والتي هي تقريباً صحيحة وموضحة في الشكل (10.7).

2 - مع شدة متجانسة لمطر صافٍ على جابية معينة، تتج شدد مختلفة لمطر لنفس الاستدامة غطط ماء للسيح، والاحداثيات العمودي لذلك في أي وقت معطاة، هي في نفس النسبة لكل آخر كشدة المطر. وذلك للقول، إن  $n$  من المرات كثرة مطر في وقت معين سيغطي غطط ماء مع إحداثيات عمودية  $n$  من المرات أكبر. في الشكل (10.7) الاحداثيات العمودية لـ  $t_1$  هما  $n_1$  و  $p$  لشدة المطر  $n_i$  و  $i$  على التوالي.



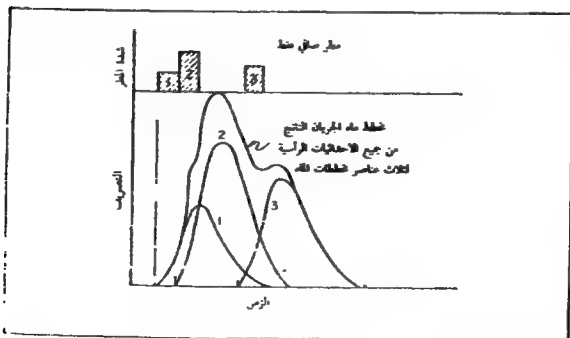
الشكل (10.7)  
أساسيات التناسب لغطط الماء القياسي

3 - يطبق مبدأ تطابق الاجراء التمثالة (Superposition) لمخطط الماء الناتج من فترات متلامسة و/ أو فترات معزولة لشدة مطر متجانسة. هذا موضح بالشكل (11.7) حيث ربما يشاهد بأن مخطط الماء الكلي الناشئ عن العواصف الثلاث المتفصلة هو مجموع مخططات الماء المتفصلة الثلاث.

فترسيخ هذه المبادئ فإن فكرة وحدة وحدة مطر الآن قد قلعت وحدة لمطر ربما تكون أي كمية معينة، مقاسة كعمق على الجاية، عادة 1 سم أو 1 أنج ولكن ليس على سبيل الحصر. فيجب أن تظهر وحدة المطر كسج في مخطط الماء القياسي. إن المساحة التي تحت منحنى مخطط الماء لها وحدات التصريف الآني مضروباً بالزمن، أو

$$\frac{L^3}{T} \times T = L^3 = \text{حجم السج}$$

وبرغم أن وحدة المطر تقاس كـ 1 سم على مساحة الجاية الكلية فالسج المتج يعطي بـ أمطار مكعبة، والكميات المشتركة متشابهة. إذا علم مخطط قياس لجاية معينة واستدامة معينة لمطر، فبعد ذلك من المبدأ (2)، من الممكن التكهّن بالسج من أي مطر آخر له نفس الاستدامة.



الشكل (11.7)

أساسيات تطابق الأجزاء المنطقية على مخطط الماء القياسي

وهذه هي الخطوة الأولى باتجاه إكمال التوفيق المطلوب، لكن إذا كان المطر المتساقط لاستدامة مختلفة عن ذلك في المخطط القياسي، فبعد ذلك يجب أن يعدل المخطط القياسي قبل أن يستعمل.

### 5.7 مخططات الماء القياسي لاستدامات مختلفة:

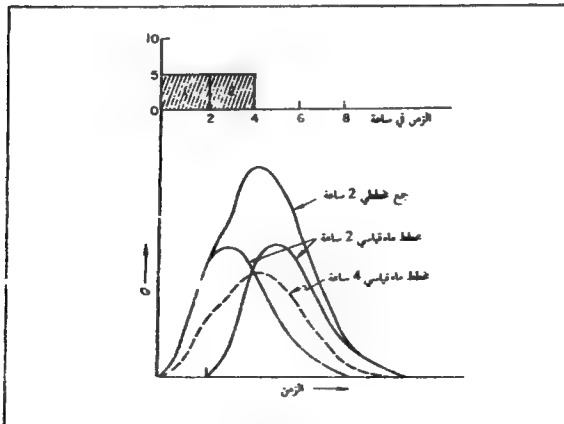
(Unit hydrographs of various durations)

1.5.7 تغير مخطط ماء لاستدامة قصيرة

إلى مخطط ماء لاستدامة طويلة:

إن أبسط طريقة لاستنتاج مخطط ماء لاستدامة أطول لمطر موضح في الشكل (12.7).

افترض أن المتوفر هو مخطط ماء قياسي لساعتين والمطلوب مخطط ماء قياسي



الشكل (12.7)

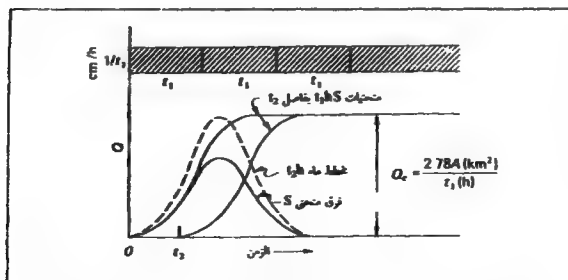
تغير مخطط ذو فترة قصيرة إلى مخطط ماء ذو فترة طويلة  
(إذا كان ذو فترة طويلة هو مضاعف زوجي إلى القصير)

لأربع ساعات. يحصل على هذا بفرض فترة إضافية لمطر صافٍ لمدة ساعتين تتبع الأولى مباشرة، والذي سيعطي قيام مخطط ماء قياسي مماثل، لكن منقول إلى اليمين بساعتين في الوقت. إذا جمع مخططا الماء القياسيان لساعتين بشكل ورسم بياني، فإن مخطط الماء الكلي المحصل سيمثل السيلج من 4 ساعات مطر بشدة  $\frac{1}{2}$  سم / ساعة. (يجب أن يكون بهذا الشكل لأن مخطط الماء القياسي يجري على 1 سم مطر). فهذا المخطط المائي الكلي هو إذن نتيجة لمطر في ضعف الشدة المطلوبة ويشقق إذن مخطط الماء لأربع ساعات من تقسيم الاحداثي الرأسي على 2 وبين بخط منقطع في الشكل (12.7). سيلاحظ بأن له قاعدة وقت أطول بساعتين من مخطط الماء لساعتين، هذا معقول طالما سقوط للمطر بشدة أقل ووقت أطول.

### 2.5.7 تغير مخطط ماء لاستدامة طويلة

إلى مخطط ماء لاستدامة قصيرة:

لاشتقاق مخطط ماء لفترة مطر قصيرة من ذلك لفترة أطول من الضروري استعمال طريقة منحنى  $S$  - منحنى  $S$  هو ببساطة مخطط الماء الكلي الناتج من مجموعة عواصف مستمرة ذات شدة منتظمة تولد 1 سم في  $t_1$  ساعة على الجاية، بمعنى آخر، هو مخطط الماء لسيلج مطر مستمر بشدة  $1/t_1$ . كمثل هذا المخطط مبن في الشكل (13.7) يصبح تصريف الجاية ثابتاً بعد  $t_2$  زمن التركيز، عندما تساهم كل أجزاء الجاية وتكون الشروط



الشكل (13.7)

تحويل مخطط الماء القياسي بواسطة منحنى  $S$

بحالة ثابتة. وبالتالي فإن كل منحنى S هو فريد لاستدامة مخطط ماء معينة، في حوض بزل معين.

إذا سحب منحنى S فترة زمنية واحدة على يمين الأول، فإنه من الواضح الفرق بين المنحنيين الموضح بيانياً يساوي إلى سيح واحد  $t_1$  ساعة مخطط ماء.

إذا كان المطلوب مخطط ماء لعاصفة ذات فترة أقصر لـ  $t_2$  ساعة، ربما يحصل عليها بسحب منحنى S مرة ثانية، لكن يتقل فقط  $t_2$  ساعة على محور الوقت. إن الفرق البياني بين المحورين الرأسين للمنحنيين S يمثل السح  $t_2$  ساعة في شدة  $1/t_1$  سم/ساعة. فيجب أن يضرب محور الرأس لمنحنى الفرق منحنى S هذا بـ  $t_1/t_2$  لتكون شدة المطر المتمثلة هي  $1/t_2$  سم/ساعة، والتي هي الشدة المطلوبة لـ  $t_2$  مخطط ماء. إن هذه العملية موضحة في الشكل (13.7).

إذا كان أساس وقت مخطط الماء هو T ساعة، فإن حالة السح الثابت يجب أن يحدث في T ساعة فقط  $T/t_1$  مخططات ماء ضرورية لإخماء جريان خارج ثابت ومنه انتاج منحنى S. يحصل على قيمة الجريان الخارج (Outflow) الثابت،  $Q_e$ ، ببساطة طالما 1 سم على الجاية مجهز ويزال كل  $t_1$  ساعة.

$$Q_e = \frac{2.78A}{t_1}$$

حيث أن:

$A$  = مساحة الجاية بـ كيلومتر مربع.

$t_1$  = الاستدامة بـ ساعة.

$Q_e$  = بـ متر مكعب / ثانية.

سيكون واضحاً أن الطريقة تستعمل لتغيير وحدة الزمن في أي من الاتجاهين أطول أو أقصر وإذا كان التغيير من أقصر إلى أطول استدامة، فإن  $t_2$  لا تضرب مباشرة بـ  $t_1$ . رغم أن الطريقة شرحت بالرسومات البيانية وتعمل عادة تطبيقاتها بالعمل بشكل جدول كما في المثال (1.7) الموضح ذلك.



□ مثال (1.7):

مخطط ماء قياس لـ 4 ساعة مدون في العمود (2) اشتق مخطط ماء قياس لـ 3 ساعة. مساحة الجابية هي 300 كيلومتر مربع.

$$\text{الجريان المتبادل لمنحنى } Q_e S = \frac{2.78 \times 300}{4} = 208 \text{ متر مكعب / ثانية}$$

سيكون ملاحظ أن  $Q_e = 208 \text{ m}^3/\text{s}$ ، كما حسب، تتفق جيداً مع القيمة المجدولة لمنحنى S 207. مؤشر-هذا بأن فترة 4 ساعة للمخطط القياسي قيمت صحيحاً. وارد جداً مع توزيع مطر غير منتظم، أن تعمل محاولة لتقليص المطر الصافي إلى مطر ذي شدة منتظمة ولاستدامة معينة. ومن الممكن أن نجلم منحنى S في هذه الطريقة كتحقيق على قيمة مخاترة. إذا كانت القيم الطرفية لمنحنى S تتغير بشكل واسع وليس ثابتة لتغير بسيط سيكون هذا مؤشر لمخطط القياس لمطر-وقت غير صحيح.

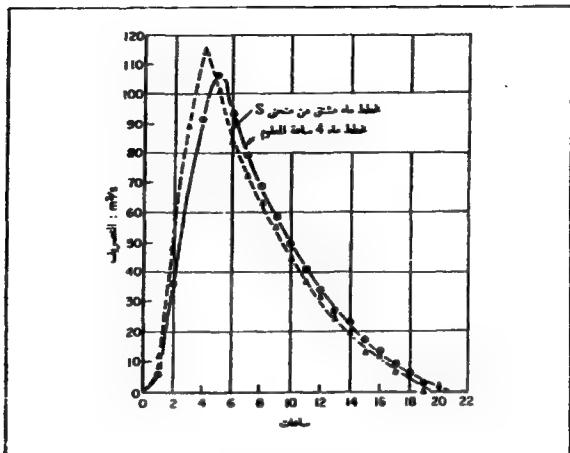
لاحظ كذلك لم يكن ضرورياً في جدول (3.7) لإظهار اعمدة  $T/t_1$  لـ 4 ساعات مخطط ماء، وإجمعهم جانبياً. إن منحنيات S الاضافية هي الاحداثيات الرأسية لمنحنى S منقولة لوقت مقداره 4 ساعات. طالما أن الساعات الأربع الأولى من مخطط الماء ومنحنى S هي نفسها، فإن منحنيات S الاضافية وأعمدة منحنى S تملأ في خطوات متعاقبة. ويكون التأثير نفسه كإظهار أسطر الاحداثيات الرأسية لمخطط الماء بتنظيم 4 ساعات متوالية، طالما منحنيات S الاضافية تمثل مجموع كل قيم الاحداثيات الرأسية السابقة لمخطط الماء القياسي.

الجدول (3.7)

طريقة منحني S

(7) العمود $6 \times \frac{4}{3}$ خطوط = ماء 3 ساعات	(6) العمود 5-4	(5) تخلف منحني S	(4) منحني S عمود 3+2	(3) منحني S إضافات	(2) مخطط ماء 4 ساعة	(1) الزمن ساعة
0	0	—	0	—	0	0
8	6	—	6	—	6	1
48	36	—	36	—	36	2
88	66	0	66	—	66	3
113	85	6	91	0	91	4
101	76	36	112	6	106	5
84	63	66	129	36	93	6
72	54	91	145	66	79	7
63	47	112	159	91	68	8
55	41	129	170	112	58	9
44	33	145	178	129	49	10
36	27	159	186	145	41	11
31	23	170	193	159	34	12
25	19	178	197	170	27	13
20	15	186	201	178	23	14
13.5°	10	193	203	186	17	15
12°	9	197	206	193	13	16
6.5°	5	201	206	197	9	17
5.5°	4	203	207	201	6	18
0°	0	206	206	203	3	19
1.5°	1	206	207	206	1.5	20
	-1	207	206	206	0	21

(\*) مطلوب تعديل بسيط نهاية مخطط 3 ساعة. ويعمل عادة بواسطة العين (أنظر الشكل 19.7)  
جميع الأرقام في m<sup>3</sup>/s ما عدا العمود (1).



الشكل (14.7)

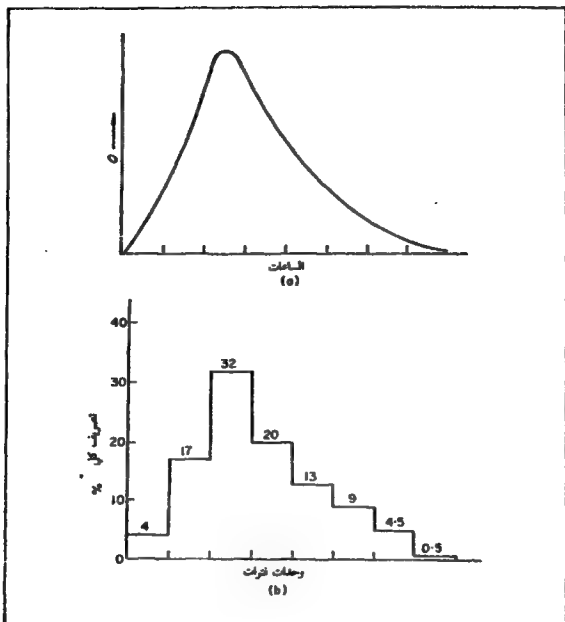
خط ماء قياسي مشتق بواسطة طريقة منحى S

## 6.7 مخطط الماء القياسي كتوزيع منوي:

(The unit hydrograph as a percentage distribution)

إن أول من استعمل منحى التوزيع هو (Bernard) (44)، ويمثل مخطط قياس بشكل منوي للجريان الكلي الحادث في وحدة زمن معينة. مثل التصريف بمخطط قياسي وهو يتناسب طردياً مع المطر الصافي، فإن النسبة المئوية في وحدة الزمن ستبقى ثابتة مهما يكن المطر الصافي. وهذا ذو فائدة لتطبيق المخطط القياسي لبعض الحالات

يبين الشكل (15.7) مخطط ماء قياسي، مع مخطط توزيع مشتق والذي يمثل ذا المخطط. إن المساحة تحت المنحى وتحت الخط المدرج هي متساوية وعليه فإن اشتقاق مخطط قياسي من مخطط توزيع يجب أن يرسم خط صقيل خلال الدرجات ليعطي مساحات متساوية.



الشكل (15.7)  
(a) غطط ماء قياسي  
(b) غطط توزيع مشتق

فإن غطط التوزيع هو أقل دقة من غطط الماء لكن أكثر ملائمة لعمليات اشتقاق معادة، كما سنرى في القسم (8.7).

## 7.7 اشتقاق للمخطط الماء القياسي :

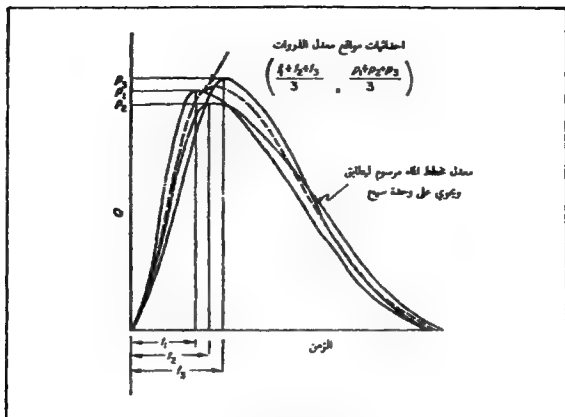
(Derivation of the unit hydrograph)

إن غطط الماء القياسي لجاية معينة من الممكن اشتقاقه من مخطط ماء طبيعي ناتج من أي عاصفة تغطي الجاية ولها شدة منتظمة بشكل معقول. إذا كانت الجاية كبيرة جداً وبعبارة أخرى أكبر من 5000 كيلومتر مربع مثلاً ربما لا تغطي مطلقاً بعاصفة ذات شدة منتظمة، طالما هؤلاء مقيدون بالحجم من قبل الظروف الميترولوجية. في هذه الحالة يجب أن تقسم الجاية إلى جايات تابعة وبحسب مخطط قياسي لكل من تلك الجايات على حدة.

الخطوة الأولى هي فصل الجريان الأساسي من السيج السطحي (القسم 3.7) ورسم السيج ومخطط المطر على نفس أساس الوقت. وبعد ذلك يجب أن تخمن كمية مطر العاصفة الصافي وتحسب شدتها واستدامتها. تعمل مقارنة الآن بين كمية المطر الصافي على الجاية وكمية السيج تحت مخطط الماء. ويجب أن يكونا متساويين وربما أحدهم أو الآخر يحتاج إلى تعديل.

ربما يحصل مخطط الماء القياسي من تقسيم الاحداثي الصادي لمخطط السيج على المطر الصافي بالاستمرار. تمثل الأحداثي الصادي المعدل المخطط القياسي لاستدامة معينة منشأة.

ينصح دائماً لإيجاد عدة مخططات قياسية، مستعملاً بذلك استدامة منتظمة معزولة للمواصف منفصلة ومميزة، إذا توفرت. إن الحوادث الطبيعية مثل المواصف المطرية والسيج تتأثر بعدة عوامل ولا تكون اثنتان متشابهتين بالضبط. إن أفضل المعلومات الطبيعية تكراراً ستكون لاستدامات مطر مختلفة ومخططات الماء القياسية الناتجة ستحتاج إلى تعديل لنفس الاستدامة «معدل» أو مخطط ماء قياسي نموذجي ربما يحدد كما هو مبين بالشكل (16.7). إن قيم محور الصادات لا تؤخذ كمعدل طالما سيج ذروة غير نموذجية. يأخذ معدل قيم الذروة لمخططات ماء قياسية منفصلة مثل قيم الزمن من ابتداء السيج إلى الذروة. تعين تلك القيم إلى معدل مخطط الماء ويعدّها ترسم إلى شكل وسيط على كلا طرفي الارتفاع والانخفاض، بحيث أن المساحة الكلية تحت المنحنى تكون مساوية إلى 1 ستمتر سيج.



الشكل (16.7)

معدل خط مائ قياسي من رقم

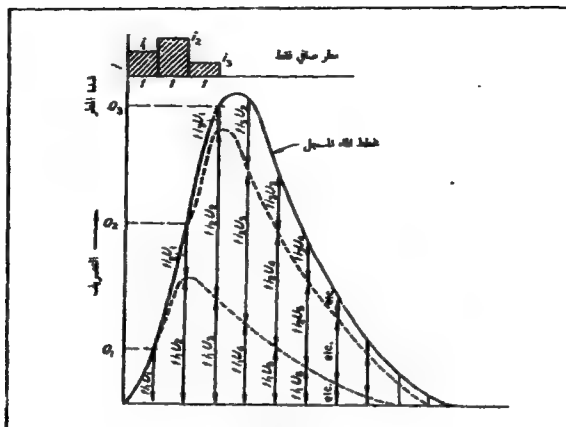
## 8.7 مخطط المائ القياسي من عواصف معقدة أو ذات فترة متعددة:

(Unit hydrographs from complex or multi-period storms)

بينما الطريقة التي فصلت في القسم (7.7) هي بسيطة ومباشرة، بافتراض مقدماً أن التسجيلات تحوي على عدد من العواصف المتصلة وذات شدة متظمة وذات مخططات مائ طبيعية متشابهة. هذه الحالة ليست تكراراً وهناك حاجة إلى طرق لاشتقاق مخططات مائ من العواصف المعقدة، المتضمنة شدة مختلفة لطر مع مخططات سيج حاوية لعدة مخططات عواصف متصلة مبركة.

لاشتقاق مخطط قياسي من مثل تلك التسجيلات هو أكثر جهداً من العواصف البسيطة لكن هناك طرق متنوعة، شرحت اثنتان منها فيما يلي:

تحتاج الطريقة الأولى، شرحت من قبل (Linsley, Kohler and Paulhus) (45) الكتابة والحل المتعاقب لسلسلة من المعادلات لكل من الاحداثي الراسي لمخطط المائ المعقد، كما فرض سابقاً أن جريان الاساسي منفصل. الطريقة موضحة بالرجوع إلى الشكل (17.7).



الشكل (17.7)

اشتقاق خط ماء قياسي من خواصف فترات متعددة

نعطي فترة المطر الأولى، ذات استدامة وشدة  $t_1$  و  $U_1$  على التوالي، ارتفاع إلى السيج الموضح بخط ماء افتراضي محدد بالخط المنقط السفلي. إن كل احداثي رأسي لهذا المخطط هو  $t_1 U_1$  مضروب باحداثي مخطط الماء القياسي  $U_1, U_2, \dots, U_n$ .

وبنفس الشكل، يتبع المطر الثاني والثالث لشدة  $t_2$  و  $t_3$  على التوالي سيج اضافي والذي احداثياته في كل حالة هما  $t_2 U_2$  و  $t_3 U_3$ ، وتلك الأجزاء المتعددة لـ  $t U$  مخطط قياسي متحولة بوقت ملائم. إذا عرفت الآن مخطط الماء المعقد باحداثيات رأسية وفواصل متساوية وملائمة (ملائم وليس أن يكون بالضرورة ثابتاً لكل الأجزاء المتعددة لـ  $t U$ ) وبعد ذلك فإن أول احداثي للمخطط،  $U_1$ ، سيحصل عليها من  $Q_1 = t_1 U_1$  حيث أن  $Q_1$  هو السيج الملاحظ، وأخيراً نحصل  $U_1$ . للاحداثي الثاني،  $Q_2 = t_1 U_2 + t_2 U_1$ ، والتي في المعادلة  $U_2$  هو غير المعلوم الوحيد.

يحصل الاحداثي الثالث بنفس الشكل من  $Q_3 = t_1 U_3 + t_2 U_2 + t_3 U_1$  حيث  $U_3$

هو الآن غير المعلوم الوحيد. والتقدم بهذه الطريقة سيؤدي إلى إيجاد أحداثيات المخطط  $th$  على التابع.

في التوضيح أعلاه فرضت جميع فترات المطر لها نفس الاستدامة  $th$  رغم أن لها شلداً مختلفة. هذا هو الشرط لاستعمال الطريقة طالما بعكس ذلك ستتج متغيرات أخرى  $U_1$ ،  $U_2$ ، ... (أحداثيات لمخطط  $t^h$ ).

رغم كل ذلك تبدو الطريقة بسيطة، طالما تعتمد كل  $U$  على القيم السابقة وعلى الفرضيات حول الاستدامة والشدة للمطر وحجم جريان الأساسي المقروض، يتجمع الخطأ وإن عدة محاولات وإعادة ربما تكون ضرورية لإيجاد مخطط قياسي معقول.

الطريقة الثانية هي لـ (Collins) (46) وهي أبسط الطرق المختلفة المقترحة. لتوضيح استعمال هذه الطريقة سيشتق مخطط ماء قياسي من معلومات المطر والتصريف الطبيعي لجاية نهر روث في (Woodhouse mile) في يوركشاير.

طريقة كولنس (Collins) لإيجاد مخطط ماء قياسي من عاصفة ذات فترات متعددة: تحتاج هذه الطريقة إلى اختبار أولي لمجموعة من المعاملات، أونسب توزيع (أنظر قسم 6.7) لمخطط قياسي. بعد ذلك يطبق منحى التوزيع على فترات المطر المختلفة، ما عدا القيمة الكبرى، وتطرح قيم التصريف الناتجة من التصريف الحقيقي للحصول على مجموعة من المتخلفات. ويجب أن تمثل تلك المتخلفات تصريف المخطط القياسي المطبق لأكبرمطر. إذا كان التوافق ضعيفاً، فتبدل المعاملات الأولية وتعمل محاولة أخرى. وبواسطة مجموعة التقريبات المتتالية، يعمل منحى المتخلفات ليتوافق مع منحى التوزيع المقروض.

إن الطريقة المشروحة أدناه خطوة بعد خطوة والشار إلى حالة معينة لنهر روث في (Woodhouse mile)، والتي اشتقت من عاصفة في يوم 14 و 15 أيار 1967. الحالة (أ) هي طريقة العادية، الحالة (ب) هي طريقة (Collins).

□ الحالة (أ): لجميع وتمية المعلومات:

1 - أجمع جميع معلومات المطر المتوفرة للجاية التي تحت البحث وفترة العاصفة، المتضمنة القياسات اليومية وتسجيل عدادات المطر وخراطم المناخ الشاملة للمنطقة، إن توفرت.



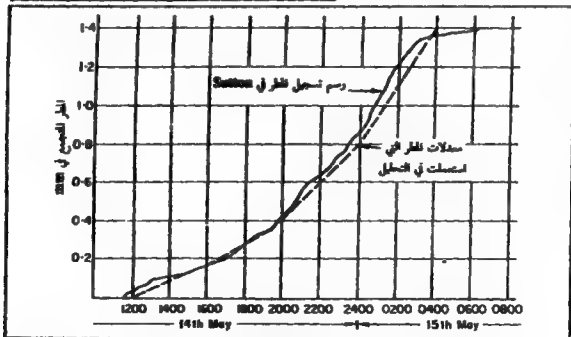
2 - اشتق منحنى وسط التراكمي لمطر الجالية ولفترة المطر المتجة لمخطط الماء تحت الدراسة. اعمل نمحزة مؤقتة لمطر الى خترات منفصلة مستظمة.

جاية. نهر روث مينة في الشكل (18.7). التسجيل المستمر لمطر (منحنى التراكمي) في (Sutton-in-Ashfield) لفترة العاصفة مينة في الشكل (19.7). يمثل



الشكل (18.7)

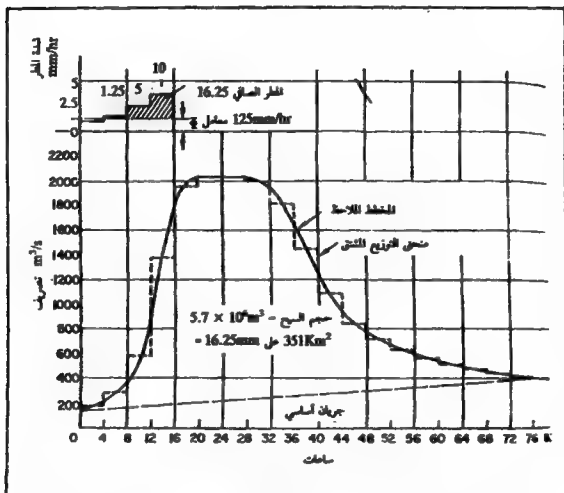
جاية نهر (Roth) في (Woodhouse Hill)



الشكل (19.7)

عاصفة مطرية ليوم 15-14 أيار 1967 في (Sutton-Ashfield)

الخط المتقطع المركب على المنحنى التراكمي الشدد المثالية المستعملة ورسم بفترة زمنية مناسبة لشكل (20.7). قيس عمق المطر الكلي يومياً في (Chesterfield) في مركز الجابية. التسجيل الكلي في (Chesterfield) في يوم 15 أيار، في الساعة 9 صباحاً كان 3.61 ستيمتر مقابل 3.63 ستيمتر في (Sutton). كان السقيط جبهوياً، متشراً ومتقطعاً نسبياً وعليه فقد فرض أن المطر المسجل في (Sutton) على عرض الجابية.



الشكل (20.7)

مخطط ماء لسحب عاصفة مخطط مطر لنهر (Rothbar)

3 - أرسم مخطط الماء للجريان الكلي وأفضل جريان الأساسي (قسم 3.7).  
إن موضع خط انفصال جريان الأساسي في مخطط الماء للنهر روث (شكل 20.7) غير محدد جداً. وعليه فإن نهاية السحب السطحي (النقطة N) كانت حوالي يومين بعد الذروة.

4 - قرر على وحدة زمن. كقاعدة عامة يجب أن لا يزيد هذا على 1/4 الوقت من بدء السيلج إلى الذروة. اعتبر مخطط مطر مؤقت (من 2 أعلاه). كان اختيار 4 ساعات لهذا التحليل ملائماً لكل من المطر والسيلج.

5 - خذ بنظر الاعتبار عجز رطوبة التربة للجاية واستعمل مؤشر  $\phi$  أو طريقة  $\phi_{eff}$  لتقدير ضائعات العاصفة لكل فترة مطر. إذا أقيمت مؤشرات المطر السابقة، استعمل ذلك واعمل تخمين لمعدل الضائعات الأولية واللاحقة. قارن بين المطر الصافي والذي اشتق بهذه الطريقة والسيلج السطحي كعمق على الجاية. إذا لم يتوافق الاثنان، فيجب أن يعدل أحدهما.

جاية روث كانت مبتلة ولكن ليس مشبعة، من مطر خفيف في اليوم السابق للعاصفة. ظهر بشكل معقول فرض أن الفترة الأولى للمطر فقدت جميعها في إبقاء عجز رطوبة التربة جيدة. اختير المؤشر لاحقاً لتوازن المطر الصافي والسيلج السطحي.

□ الحالة (ب): استعمال المعلومات لاشتقاق المخطط القياسي:

6 - جدول المعلومات ذات العلاقة بالموضوع في الأعمدة 1 إلى 9 بجدول مشابه للجدول (4.7) وهيئة أعمدة لعدد من وحدات الفترات في مخطط الماء القياسي تحت «معاملات التوزيع».

إن عدد الأعمدة في جدول (4.7) تحت معاملات التوزيع هي 16. هذا هو عدد وحدة الفترات من ابتداء آخر فترة مطر إلى نهاية السيلج السطحي.

7 - افرض معاملات توزيع للمخطط القياسي (تمثل نسبة مئوية للسيلج الكلي لكل وحدة فترة) ووزعها على الأعمدة المناسبة.

8 - أوجد التصريف، حيث، يجري بشكل ثابت لوحدة فترة واحدة، سنساي تقريباً 1 ملليمتر على الجاية.

وجد هذا الرقم لهذه الحالة

$$\frac{35.1 \times 10^7 \times 1}{1000 \times 4 \times 3600} = 24.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

جيدول و(4.7)

(17) %	(18) COLUMBIA	(11) Σ	(11) المدى الزمني																(4) المدى الزمني	(5) المدى الزمني	(6) المدى الزمني	(7) المدى الزمني	(8) المدى الزمني	(9) المدى الزمني	(10) المدى الزمني	(11) المدى الزمني	(12) المدى الزمني	(13) المدى الزمني	(14) المدى الزمني	(15) المدى الزمني	(16) المدى الزمني	(17) المدى الزمني	(18) المدى الزمني	(19) المدى الزمني	(20) المدى الزمني	(21) المدى الزمني	(22) المدى الزمني	(23) المدى الزمني	(24) المدى الزمني	(25) المدى الزمني	(26) المدى الزمني	(27) المدى الزمني	(28) المدى الزمني	(29) المدى الزمني	(30) المدى الزمني	(31) المدى الزمني	(32) المدى الزمني	(33) المدى الزمني	(34) المدى الزمني	(35) المدى الزمني	(36) المدى الزمني	(37) المدى الزمني	(38) المدى الزمني	(39) المدى الزمني	(40) المدى الزمني	(41) المدى الزمني	(42) المدى الزمني	(43) المدى الزمني	(44) المدى الزمني	(45) المدى الزمني	(46) المدى الزمني	(47) المدى الزمني	(48) المدى الزمني	(49) المدى الزمني	(50) المدى الزمني	(51) المدى الزمني	(52) المدى الزمني	(53) المدى الزمني	(54) المدى الزمني	(55) المدى الزمني	(56) المدى الزمني	(57) المدى الزمني	(58) المدى الزمني	(59) المدى الزمني	(60) المدى الزمني	(61) المدى الزمني	(62) المدى الزمني	(63) المدى الزمني	(64) المدى الزمني	(65) المدى الزمني	(66) المدى الزمني	(67) المدى الزمني	(68) المدى الزمني	(69) المدى الزمني	(70) المدى الزمني	(71) المدى الزمني	(72) المدى الزمني	(73) المدى الزمني	(74) المدى الزمني	(75) المدى الزمني	(76) المدى الزمني	(77) المدى الزمني	(78) المدى الزمني	(79) المدى الزمني	(80) المدى الزمني	(81) المدى الزمني	(82) المدى الزمني	(83) المدى الزمني	(84) المدى الزمني	(85) المدى الزمني	(86) المدى الزمني	(87) المدى الزمني	(88) المدى الزمني	(89) المدى الزمني	(90) المدى الزمني	(91) المدى الزمني	(92) المدى الزمني	(93) المدى الزمني	(94) المدى الزمني	(95) المدى الزمني	(96) المدى الزمني	(97) المدى الزمني	(98) المدى الزمني	(99) المدى الزمني	(100) المدى الزمني
100.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	9.0	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	10.0																		
0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	9.0	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	10.0																			
0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	9.0	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	10.0																			
0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	9.0	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	10.0																			
0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	9.0	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	10.0																			
0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	9.0	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	10.0																			
0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	9.0	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	10.0																			
0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	9.0	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	10.0																			
0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	9.0	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	10.0																			
0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	9.0	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	10.0																			
0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	9.0	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	10.0																			
0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	9.0	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	10.0																			
0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	9.0	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	10.0																			
0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6																																																					

9 - يضرب أول مطر صافي بهذا التصريف والناتج يوزع بنسبة مئوية على أعمدة معاملات التوزيع ويضرب بالدور بكل معامل مئوي. وأدخلت الأرقام المختلفة في الأعمدة بشكل قطري.

في هذه الحالة  $1 \times 24.4$  فإن أول عمود  $24.4 \times 0.05 = 1.2$  وهكذا. لاحظ أن 1.2 أدخلت مقابل المطر المطابق وليس في أعلى السطر والذي أهمل.

10 - تعاد طريقة العمل لـ 9 لجميع المطر الصافي فيما عدا أكبر قيمة والتي دخل عوضاً عنها خط. إن أكبر مطر وقع في النهاية كان وليد الصدقة في هذه الحالة.

11 - تجمع التصاريح المختلفة أفقياً وتدخل في عمود  $\Sigma$  (11).

12 - يطرح العمود  $\Sigma$  من عمود 9 والباقي يدخل في عمود المتخلفات. ونحول بعد ذلك تلك المتخلفات إلى نسب مئوية لوحدة منحني التوزيع وذلك بالتقسيم على التصريف 8 ومضروباً بأكبر مطر ومن ثم في 100. ويجب أن يكون مجموع عمود النسبة المئوية 100. إن النسب المئوية التي لم تستطع أن تؤثر بأكبر مطر توضع داخل أقواس ويعاد توزيعها على المعاملات الأخرى ويجب أن يبقى المجموع 100%. تمثل تلك النسب المئوية التوزيع الضروري لأكبر مطر لعمل تصريف صافٍ جيد لعمود 9. إذا كانوا كما فرضت معاملات التوزيع فلقد وجد مخطط وحدة التوزيع.

المتخلف 31.9 لفترة 6 على سبيل المثال يعدل أخيراً إلى:

$$\frac{1090}{0.40 \times 21960} \times 100 = 12.5\%$$

جاءت مجموع النسب المئوية إلى 106.2 نتيجة للتقريب. وأعيد توزيع الأرقام المحصورة بأقواس طلالاً للمحاولة القادمة تحتاج إلى تعديلات جوهرية على أي حال.

13 - إذا كان الفرق بين المعاملات التجريبية والمعدلة (بعد إعادة التوزيع) كبيراً، فعليه يجب أن تتخذ محاولة أخرى وتعاد الخطوات 9 إلى 12، حتى يكو الفرق صغيراً ويمكن أن يعمل (مثلاً أقل من 1%). يجب أن يستعمل المعدل الموزون للمحاولات السابقة والمعاملات الناتجة المعدلة كما يلي:

إذا كان:

$$P = \text{مجموع التخلفات}$$

$$Q = \text{مجموع التصريفات لجميع الفترات خلال مساهمة أكبر مطر.}$$

$$C_1 = \text{المعامل التجريبي.}$$

$$C_2 = \text{المعامل المحسوب والمعدل.}$$

$$C_3 = \text{المعامل الجديد التجريبي المزمع استعماله.}$$

فإن:

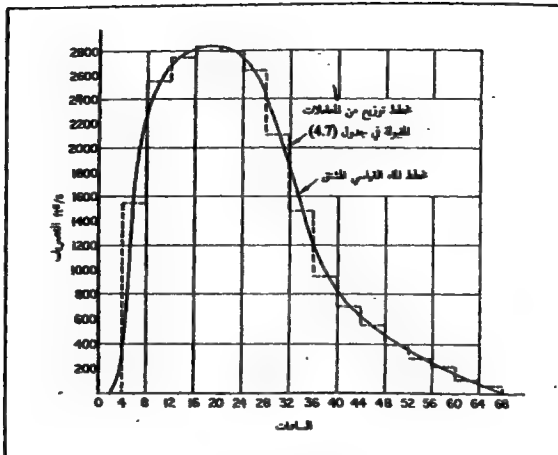
$$C_3 = \frac{QC_1 + PC_2}{Q + P}$$

بين مرة وأخرى، يعمل الموزون عادة ببساطة بالنسبة إلى عمق المطر الكلي، استعملت المعاملات التجريبية ذات اعماق المطر الموزونة فعلياً والمعاملات المحسوبة لأكبر مطر.

14 - إن من المعقول رسم منحنى التوزيع قبل إقرار المعاملات المقبولة. ربما عمل تغيرات صغيرة لتساعد في إعطاء منحنى صقيل للمخطط القياسي المتخذ.

عملت ثلاث محاولات في الحالة الموضحة م الحسابات وعمل تعديل ثاني (يدون إعادة الحسابات) بعد رسم منحنى التوزيع وأخيراً اشتقاق المنحنى القياسي المين في الشكل (21.7).

إن الطريقة عملية ومفيدة عندما تكون قيمة أكبر مطر كبير جداً مقارنة مع الآخرين طالما يحدث تقارب سريع للمعاملات. ولم تكن هذه الحالة في المثال الموضح. يجب أن لا يوضع اعتماد كبير جداً في المخطط القياسي المشتق لهذه الطريقة، حت تستعمل في المياه العملية و/ أو يشتق من مجموعة مختلفة من العواصف، الما معدلات الضائعات المختارة لها تأثير حرج على المخطط القياسي الناتج.



الشكل (21.7)

خط ماء قياسي لفترة 4- ساعة لهر (Bulwer) مشتق من علاقة متعددة القترات في الشكل (19.7)

## 9.7 المخطط الماء القياسي التوي:

(The instantaneous unit hydrograph)

إن امتداد نظرية مخطط القياسي هو مفهوم لمخطط الماء القياسي التوي أو IUH. IUH هو مخطط ماء لسبح من تطبيق توي لوحدة مطر مؤثرة على الجابية.

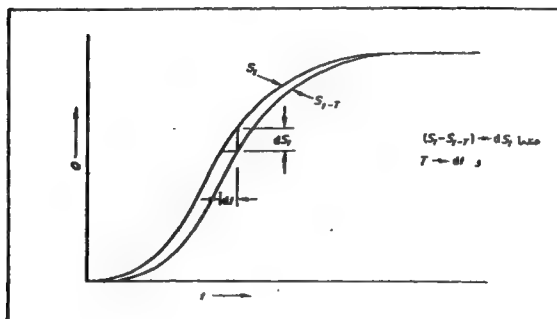
بالإشارة إلى الشكل (13.7) في القسم (5.7)، شوهد أن منحنى S هو أبسط طريقة لاشتقاق مخطط قياسي لفترة T ساعة من مخطط قياسي لأي فترة t ساعة، برسم منحنين S، t ساعة وبينهما فاصل مقداره T ساعة. هذا يترجم بمعادلة

$$U(T, t) = \frac{1}{T}(S_t - S_{t-T}) \quad (1.7)$$

حيث أن  $U(T,t)$  تمثل الاحداثي الراسي لـ  $T$  ساعة خطط قياسي مشتق من  
 خططات  $t$  ساعة. عندما نتقن تدريجياً إلى الصفر،  $dt \rightarrow 0$ ، الطرف الأيمن من المعادلة  
 (1.7)  $\leftarrow$  اشتقاق منحنى  $S$ . كما يشاهد بشكل تخطيطي بالشكل (22.7). أما بشكل  
 معادلة فهو

$$U(0,t) = \frac{d(S_t)}{dt} \quad (2.7)$$

بمعنى آخر، احداثي الراسي لـ  $IUH$  في أي وقت  $t$  يعطي به  $dS/dt$  في الزمن



الشكل (22.7)

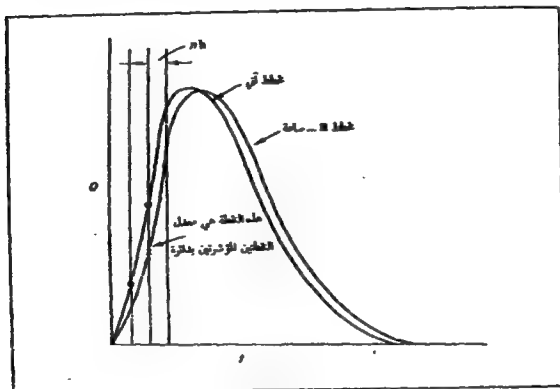
خطط للماء القياسي الآتي كمشتقة لمنحنى  $S$

$IUH$  هو عرض فريد لاستجابة جابية معينة للمطر، غير معتمدة على الاستدامة  
 مثل المخطط القياسي الذي استجابته للمطر لاستدامة معينة تماماً لأنه غير معتمد  
 على الزمن فإن  $IUH$  تعبير بياني لتجميع كل متغيرات الجابية من طول وشكل وانحدار  
 الخ والتي تسيطر على مثل هذه الاستجابة.

إن تحويل  $IUH$  إلى خطط قياسي لفترة محدودة بسيط وإن احداثي الراسي لـ  $n$



ساعة مخطط قياسي في زمن  $t$  هو معدل الأحداثي الراسي لـ IUH لـ  $n$  ساعة قبل  $t$ .  
 يلاحظ من الشكل (23.7) ان IUH يقسم إلى  $n$  ساعة فترات زمن، وترسم معدلات  
 الأحداثيات للابتداء والانهاء لكل فترة في نهاية الفترات لعمل  $n$  ساعة مخطط قياسي.



الشكل (23.7)

خط ماء قياسي لـ  $n$  ساعتين من IUH

يستعمل IUH لاشتقاق مخطط قياسي من مسلك فيضان كما شرح في  
 القسم (6.8).

## 10.7 مخططات الماء المصطنع:

(Synthetic unit hydrographs)

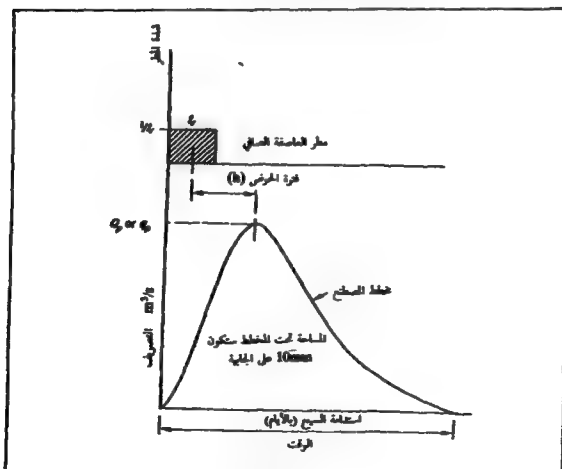
في الأقسام السابقة كان يفترض دائماً توفر بعض القياسات لاشتقاق المخطط  
 القياسي لكن هناك عدة جابيات ليس لها قياسات سيح بالرة وربما يراد لها مخططات  
 قياسية. وفي تلك الظروف ربما يصطنع مخطط ماء على أساس تجارب ماضية في مناطق أخرى  
 وتطبيق ذلك كأول تقرب إلى جابية ليس فيها قياسات. وتطلق على تلك الأدوات  
 مخططات القياس المصطنعة (Synthetic unitgraphs).

إن أفضل طريقة معروفة هي لـ (Snyder) (47) الذي اختار المعايير الثلاثة هي عرض منسوب خط الماء وتصريف الذروة وفترة الخوض، هي كافية لتعريف خط الماء القياسي. وتلك المعايير مبنية في الشكل (24.7). وأخذ (Snyder) بنظر الاعتبار صفات الجابية مرجحة للتأثير على شكل خط الماء القياسي والتي تكمن في مساحة الجابية وشكل الخوض والطوبوغرافية واتحادات القنوات وكثافة الجداول وخزن القناة. وقد حذفت جميع المعايير ما عدا أول اثنين وذلك بضمهم في العامل  $C_1$ . وعامل حجم وشكل الجابية بقياس طول قناة الجدول الرئيس واقتراح بأن:

$$t_p = 0.75(L_{\text{maj}}L)^{0.3}$$

حيث أن:

$t_p$  = فترة الخوض (ساعة)، تعني، الوقت بين مركز كتلة وحدة المطر لاستدامة  $t_p$  ساعة وذروة جريان السيح.



الشكل (24.7)  
معاملات خط الماء المصطنع

كما = المسافة من محطة القياس إلى مركز مساحة الجاية، مقاسة على طول قناة الجدول الرئيس إلى أقرب نقطة، (كيلومتر).

$L$  = المسافة من محطة إلى حدود الجاية مقاسة على طول قناة الجدول الرئيس (كيلومتر).

$C_2$  = معامل يعتمد على وحدات وخواص بزل الحوض ويتغير بين 1.8 و 2.2 للدراسات جاييات (Appalachian Highlands).

والمعادلة للذروة الجريان (لمساحة كيلومتر مربع)  $L$  بخط ماء قياسي اعطيت

:-

$$q_p = C_p \cdot \frac{7}{t_p}$$

حيث أن:

$q_p$  = متر مكعب / ثانية.

$C_p$  = معامل يعتمد على وحدات وخواص الحوض ويتغير بين 0.56-0.69 لجاييات (Appalachian). ويشكل عام يصل إلى أعلى قيمة عندما تصل  $C_1$  إلى اوطأ قيمة وبالعكس.

وذروة الجريان لمخطط الماء القياسي

$$Q_p = C_p \cdot \frac{7}{t_p} A$$

حيث أن:

$A$  = مساحة الجاية بالكيلومتر المربع.

إن استدامة السبع السطحي، أو طول الأساس لمخطط الماء القياسي،  $T$ ، اعطيت من قبل (Snyder) بتعبير تجريبي

$$T = 3 + 3 \left( \frac{t_p}{24} \right) \quad (5.7)$$

حيث أن  $T$  بالأيام و  $t_p$  بالساعات. ويعطي هذا التعبير الحد الأدنى لطول الأساس لثلاثة أيام حتى لمساحات صغيرة. والفترة أكثر بكثير لتأخير من الممكن إنجازها إلى خزن القناة.

وعلق (Snyder) على هذا كأن يكون بسبب «جريان عاصفة تحت السطح» والذي عرف من قبل (Hersh) (48) «هو ذلك الجزء من جريان العاصفة الذي يرتشح بداخل سطح الأرض لكن يتعد خارجاً من المساحة خلال الطبقة العليا من التربة بمعدل أكثر بكثير من تسرب المياه الجوفية الاعتيادية». هذا هو ما أشار إليه في ما كتب مؤخراً عن الموضوع كجريان داخلي (Inter flow) وللأغراض العملية يعتبر سطحاً سطحياً.

$t_p$  وحدة فترة المطر، افترضت تساوي إلى  $t_p/5.5$  في الدراسة، طالما من المهم لاختيار قيمة مناسبة مفردة في جميع الجاليات لاشتقاق الصيغ. اختيرت هذه القيمة المعينة لجعل وحدة الوقت تساوي إلى قيمة دنيا أو طاً في حالة سيكون له التقليل الأكثر تأثير قليل أو ليس له تأثير على فترة الحوض أو ذروة تصريف مخطط الماء القياسي. إذا كان طول العاصفة الحقيقي لا يساوي  $t_p$ ، لكن هو  $t_R$ ، فتصبح المعادلة (4.7):

$$q_{PR} = C_p \cdot \frac{7}{t_p + (t_R - t_p)/4} \quad (6.7)$$

حيث أن:

$q_{PR}$  = ذروة التصريف (لكيلومتر مربع) لـ  $t_R$  مخطط ماء قياسي والذي يسمح بشكل عام لتقصان الملاحظ في ذروة جريان مخطط الماء لفترات أطول من المطر.

واقترح (Snyder) في ما بعد (49) تعبيراً يسمح لبعض التغير في فترة الحوض مع تغير في استدامة المطر المؤثر.

$$t_{PR} = t_p + (t_R - t_p)/4 \quad (7.7)$$

حيث أن:

$t_{PR}$  = فترة الحوض لاستدامة عاصفة  $t_R$ .

عرض في ما بعد (Linsley) معلومات (50) مبنية على دراسة لجاليات كليفورنية واقترح تعديلات لصيغ (Snyder) وأعطى كذلك قيم للمعاملات مختلفة كالآتي:

فترة الخوض (Basin lag): استخرج عامل جديد  $t_{PO}$  - فترة الخوض لعاصفة نوية - واستعملت لاشتقاق  $t_{PR}$  والتي لها نفس المعنى السابق.

$$t_{PO} = 0.75C_1(L_{CS}L)^{0.3} \quad C_1 \text{ (معامل)} = 0.5$$

$$t_{PR} = t_{PO} + (C_2 - 0.5)t_R$$

$$C_2 \text{ (معامل)} = 0.85 \quad (8.7)$$

ذروة تصريف خطوط الماء القياسي (كيلومتر مربع):

$$q_{PR} = C_p \cdot 7 / t_{PR} \quad (9.7)$$

حيث أن  $C_p$  تتغير بين 0.35 إلى 0.50 و  $Q_{PR} = q_{PR}A$

وقت الأساس لمخطط الماء القياسي:  $T = 3 + (3t_{PR}/24)$  يوم.

إن درجة تشعب المعاملات مؤشر لاهمية المحاولة للحصول على معلومات حقيقية في فترة جابية ليس فيها مقاييس، وأخيراً بالاستطاعة أن تستعمل  $C_1$  مع اعتماد معقول.

وقد عملت دراسات متقدمة في هذا المجال من قبل (Taylor and Schwarz) (51) في دراسة معتمدة على 20 جابية مساحتها من 4160-52 كيلومتر مربع في شمال وسط الولايات الأطلسية في الولايات المتحدة الأمريكية. واستعملوا المعاملات  $L$ ،  $S_a$  كما في السابق وكذلك أدخلوا انحدار مجرى الماء الرئيس وذلك بتعريف  $S_a$  كانحدار لقناة منتظمة لها نفس طول أطول مجرى ماء ووقت سفر متساوٍ. المعادلات التي اشتقت هي كالتالي:

$$t_{PR} = C' C'' t_R \quad \text{فترة الخوض} \quad (11.7)$$

حيث أن:

$T_{PR}$  = الفترة بالساعة من مركز المطر الصافي إلى ذروة مخطط الماء القياسي .

$t_R$  = الوقت بالساعة من ابتداء الى نهاية المطر الصافي .

$$c = 2.7183$$

$m'$  = معدل التغير للفترة مع استدامة الماصفة .

$C'$  = فترة للمخطط الماء القياسي الآني .

واشتقت  $m'$  و  $C'$  من المعادلات التالية:

$$m' = 0.32(LL_{eq})^{0.38} \quad (12.7)$$

$$C' = 0.6/\sqrt{(S_{eq})} \quad (13.7)$$

حيث أن  $L$  و  $L_{eq}$  نفس التعريف السابق و

$$S_{eq} = \left[ \frac{n}{1/S_1^2 + 1/S_2^2 + \dots + 1/S_n^2} \right]^2 \quad (14.7)$$

حيث أن:

$n$  = معامل مانتك (Manning's coefficient) لحشوة مجرى النهر الطبيعي .

$S_1, S_2, \dots$  الخ = انحدارات المحطات الفردية ولسافات متساوية والتي من الممكن تقسيم مجرى الماء الرئيس بارتفاع .

ذروة تصريف مخطط الماء القياسي (كيلومتر مربع):

$$q_{PR} = 0.02C' e^{m' t_R} \quad (15.7)$$

$$C' = 538(LL_{eq})^{-0.36} \quad (16.7)$$

$$m' = 0.12S_{eq}^{0.192} - 0.05 \quad (17.7)$$

## عرض الأسس لمخطط الماء القياسي

$$T = 5(t_{pR} + t_{R}/2) h$$

(18:7)

وقد أعطى الناشران في مقالاتهما مخططاً بيانياً لحل المعادلات وعملاً عدة قياسات حول استعمال طريقتهم. ويشمل هؤلاء الاقتراحات والتي يجب أن تعامل الروافد بصورة منفصلة، وكذلك يجب حصر استعمال المعادلات لتنتج العواصف الرئيسية والمعتلة وذات توزيع منتظم على المساحة الجغرافية المائلة لتلك التي اشتقت منها المعادلات. المعادلات التي أعطيت هنا والتي شكلت تفعلاً إضافياً إلى المراجع على شكل مخططات بيانية.

تصنع ربما مخططات الماء القياسية بطرق مخططات الانسياب ويشرح القسم (6.8) هذا التكنيك. ووضع هذا القسم في الفصل الثامن بسبب ضرورة معرفة طريقة الانسياب كي يفهم التكنيك.

المعامل  $\mu$  في شكل معادلة مانك (بالوحدات البريطانية أو العالمية) لها نفس القيمة العددية. بعض القيم النموذجية مجمولة أدناه.

■	نوع القناة
0.021	القنوات المبطنة الخشنة وعلى شكل متوازي أضلاع أو القناة التي ليس فيها عوارض أو منحنيات شديدة.
0.030	قنوات الأنهر الطبيعية، الجريان بشكل متدفق في ظروف نظيفة.
0.35	قنوات الأنهر القياسية أو نهر في ظروف دائمة.
0.045-0.050	أنهر فيها مياه ضحلة ومنحنيات ونباتات مائية ملاحظة. جداول لها ضفاف من حصى ومنحنيات.
0.060-0.100	أنهر ذات تصريف واطئ لها منحنيات وأحواض وذات تدفق قليل وضفاف مكسوة.





## استبّاع الفيضان

### Flood Routing

#### 1.8 تمهيد:

لقد تطورت الحضارات دائماً على ضفاف الأنهر، حيث أن وجودها يؤمن حرية الوصول من وإلى شواطئ البحار وري المحاصيل وإسالة المياه للتجمعات المدنية وتطوير وتوليد القوة الكهربائية وإسالة المياه للأغراض الصناعية. إن هذه الميزات والفوائد كثيراً ما توازن بأخطار الفيضان، ولقد أنشئت السداد الواقية أو ضفاف الفيضان (Flood banks) في السابق على امتداد الأنهار الرئيسة لمنع الغمر في فصل الفيضان. أما في الوقت الحاضر فإن خزانات التجميع (Reservoir) قد أنشئت عندما تطورت مبادئ تصليم وإنشاء السدود وإن إجراءات وتدابير أخرى مثل قنوات التصريف (Relief channels) وأحواض التخزين وتهذيب المجاري هي باستمرار قيد الإنشاء في أرجاء عديدة من العالم.

إنه من المهم في مثل هذه الأعمال إجراء تخمين عن كيفية تأثير التدابير المقترحة على سلوك موجات الفيضان في الأنهار لإيجاد الحلول الاقتصادية للحالات الخاصة. إن دراسة استبّاع الفيضان هو الوصف المستعمل لهذه العملية. إنه الاجراء الذي خلاله يعين الاختلاف في التصريف بالنسبة إلى الزمن في نقطة

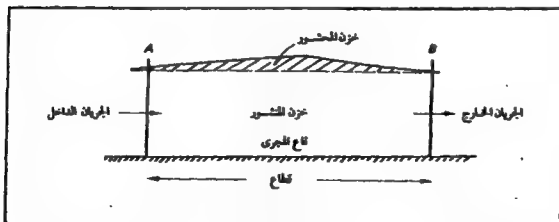
على للمجرى المائي آخذين بنظر الاعتبار معطيات مشابهة لنقطة في أعلى المجرى نفسه. وفي تعبير آخر إنها عملية توضح كيف أن موجة الفيضان تقلص في المقدار وتطول بالوقت (تلتطف) باستعمال الخزن في القطاع (Reach) بين النقطتين.

## 2.8 معادلة الخزن: (The Storage equation)

طالما أن طرق استنباع الفيضان تعتمد على معرفة الخزن في القطاع فيجب إيجاد طرق لتقييم الخزن. هناك طريقتان لعمل هذا التقييم. الأولى هي عمل مسح طوبوغرافي وهيدرولوجي مفصل لقطاع النهر والاضفاف وهذا يستخرج سعة الخزن للمجرى لمستويات مختلفة. والطريقة الثانية هي باستعمال القياسات السابقة لمناسيب موجات الفيضان عند نقطتين ومن ثم استنتاج سعة الخزن للقطاع. وقد فرض بأن سعة الخزن هذه سوف لا تتغير تغيراً جوهرياً بالنسبة للزمن وهذا فلنأخذها تستعمل لاستنباع الفيضانات الحرجة والكبيرة عند التنبؤ. المطلوب في الطريقة الثانية، وهي الطريقة المستعملة عادة بصورة عامة، هو أكبر قدر ممكن من المعلومات، والتي تشمل على بيانات الجريان في بداية ونهاية القطاع وكذلك عند أي رافد يتصل به وقياسات المطر لأي مساحة تساهم في الجريان المباشر إلى القطاع.

إن الخزن في القطاع للنهر يقسم إلى جزئين:

- خزن المنشور (Prizm storage)؛
- والخزن المحشور: (Wedge Storage) الموضح في الشكل (1.8).



الشكل (1.8)

خزن في قطاع نهر

إن هذا يكون بسبب كون انحدار السطح عند الفيضان غير منتظم (انظر الجزء (2.6)).

فإذا ما أردنا الآن دراسة استمرارية الجريان خلال القطاع الموضح في الشكل (1.8) فمن الواضح بأن ما يدخل القطاع في المنطقة (A) يجب أن يظهر للعيان في النقطة (B) أو يتحرك مؤقتاً إلى الخزن.

$$-I = D + \frac{dS}{dt}$$

حيث:

$I$  = الجريان الداخل (Inflow) في القطاع.

$D$  = الجريان الخارج (Outflow) من القطاع.

$\frac{dS}{dt}$  = معدل التغير في الخزن في القطاع بالنسبة إلى الزمن.

إن هذه المعادلة تقرب إلى الشكل التالي، للفترة الزمنية (t) بواسطة

$$\frac{I_1 + I_2}{2} t - \frac{D_1 + D_2}{2} t = S_2 - S_1 \quad (1.8)$$

حيث أن الرمز الدللي 2,1 يعني القيم في بداية ونهاية الزمن (t) على التوالي. إن الزمن (t) يدعى بزمن الاستباج (Routing time) ويجب أن يختار قصيراً بصورة كافية بحيث أن الفرضية المتضمنة في المعادلة (1.8) وهي أن غطط ماء الجريان الداخل والجريان الخارج مكون من مجاميع من الخطوط المستقيمة، لا تعيد بعيداً عن الواقع. وعلى الخصوص إذا كان الزمن (t) طويلاً جداً فمن الممكن أن تفوت ذروة منحنى الجريان الداخل، أي أن الفترة يجب أن تكون أقصر من فترة انتقال قمة موجة الفيضان خلال القطاع. من ناحية أخرى، كلما قصرت فترة الاستباج كلما زادت كمية العمليات الحسابية الواجب عملها.

### 3.8 استتباع الخزان: (Reservoir routing)

إذا ما رتب الآن المعادلة (1.8) بحيث أن جميع الحدود المعلومة تكون في جهة واحدة فإن التعبير سيصبح

$$\frac{1}{2}(I_1 + I_2)t + (S_1 - \frac{1}{2}D_1t) = (S_2 + \frac{1}{2}D_2t) \quad (2.8)$$

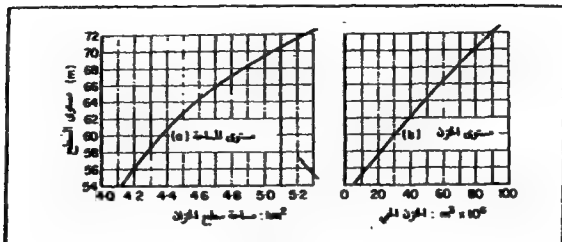
إن عملية الاستتباع تكمن في إدخال القيم المعروفة لاستخراج  $(S_2 + 1/2D_2t)$  ومن ثم استنتاج القيم المتناظرة لـ  $(D_2)$  من العلاقة التي تربط بين الخزن والتصريف. إن أول ما بين هذه الطريقة هو (I.G.Puls).

إن أسهل حالة هي للخزان الذي يستلم الجريان الداخل عند أحد الأطراف ويصرف المياه من خلال المطفح (Spillway) في الطرف الآخر. يفرض في مثل هذا الخزان عدم وجود الخزن المحشور (Wedge storage) وإن التصريف هو دالة لمنسوب سطح الماء بشرط أن تنظيم المطفح يكون إما بواسطة طفق حر (Free overflow) أو مبنية بواسطة فتحات ثابتة للبوابات. في الامكان معاملة الخزانات التي تستعمل فيها بوابات التحكم (Sluice gates) معاملة الخزانات البسيطة أيضاً. إذا ما فتحت هذه البوابات فتحة معينة لكل منسوب محدد لسطح الماء، ليكون في الامكان رسم منحى يربط بين الجريان الخارج والمنسوب. إن المعلومات الأخرى المطلوبة هي منحى يربط بين الخزن والمنسوب وكذلك مخطط الجريان الداخل.

□ مثال (1.8):

خزان يجمع للمياه محصور بسد له مساحة سطحية متغيرة بالنسبة للمنسوب كما هي موضحة في العلاقة الظاهرة في الشكل (2.8). إن السد مزود بمنفذين للتصريف على شكل دائري مجهزين ببوابتين قطر كل منها 2.7m ومنسوب مركزهما 54.0m ومطفح فانفس حر طوله 72.5m ومنسوب حافته 66.0m. إن بوابات التصريف مفتوحة وإن منسوب سطح الماء في الخزان هو 63.5m في الوقت  $(t=0)$ . مخطط الماء للفيضان المتوقع في العمود (3) من الجدول (2.8).

ماذا سيكون أعلى منسوب للماء في الخزان متى يحدث هذا المنسوب؟



الشكل (2.8)

خواص الخزان

1 - يفرض معامل التصريف للمنفذ اللاتري (Cd) يساوي 0.8 ومن ثم

$$Q = 2(C_d A \sqrt{2gH})$$

وفي الوقت صفر،  $Q=D$  (العمود الخامس من الجدول 2.8)

$$Q = 2(0.8 \times 5.7 \sqrt{186.5}) = 125 \text{ m}^3/\text{s}$$

لاحظ بأن مقدار (g) هو  $9.81 \text{ m/s}^2$ . أدخل هذا المقدار في السطر الأول من العمود الخامس.

2 - أحسب منحى النسوب - الخزن الشكل (2.8) (b) وتذكر بأن الخزن الحي يبدأ من النسوب 52.65m، وهو منسوب الحافة السفلى لمنفذ التصريف والذي يساوي  $5.5 \times 10^6$  متر مكعب عند النسوب 54m. أن الخزن بين 54m و 56m يساوي معدل المساحة السطحية للخزان عند هاتين المنسوبين مضروباً بالعمق 2m ويساوي  $8.33 \times 10^6$  متر مكعب. إن الزيادات المتعاقبة والمحسوبة في هذه الطريقة قد رسمت تراكمياً وبأخذ النسوب 52.56m كمرجع (Datum).

3 - أحسب التصاريح بالنسبة إلى المناسيب المختلفة كما في الجدول (1.8).

جدول (1.8)  
جدول المنسوب - التصريف

التصريف الكلي $m^3/s$	تصريف المطّح $m^3/s$	$H^{3/2}$	الشحّة فوق منسوب $66=H$ $m$	التصريف من المنفذ $m^3/s$	الشحّة فوق منسوب $54$ $m$	منسوب سطح الماء $m$
81.5	—	—	—	81.0	4	58
99.5	—	—	—	99.5	6	60
114.8	—	—	—	114.8	8	62
128.0	—	—	—	128.0	10	64
140.7	0	0	0	140.7	12	66
148.0	5.1	0.032	0.1	141.2	12.1	66.1
156.0	14.2	0.089	0.2	141.8	12.2	66.2
169.0	26.0	0.164	0.3	142.6	12.3	66.3
183	40.0	0.252	0.4	143.0	12.4	66.4
200	56	0.353	0.5	143.7	12.5	66.5
238	93	0.58	0.7	144.8	12.7	66.7
282	136	0.85	0.9	146.0	12.9	66.9
306	160	1.0	1.0	146.0	13.0	67.0
443	294	1.84	1.5	149.3	13.5	67.5
6.5	453	2.83	2.0	152.0	14.0	68.0

يفرض لتصريف المطّح

$$Q = CLH^{3/2}$$

حيث

$$C = 2.2m^{1/2}/s$$

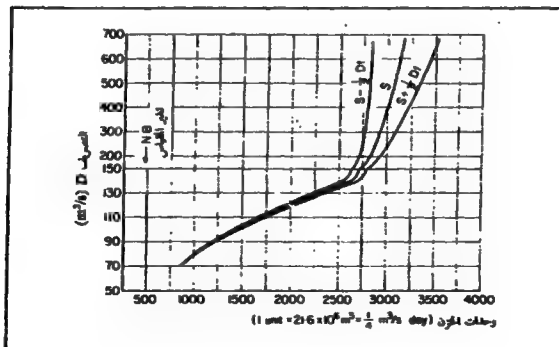
جدول (2.8)  
حسابات استيعاب الخزائن

8	7	6	5	4	3	2	1
منسوب سطح الماء m	$S+1/2D$ $1/4m^3/s$ day	$S-1/2D$ $1/4m^3/s$ day	D $m^3/s$	$\frac{I+I_2}{2}$	الانصباب $m^3/s$	فترة الاستيعاب	الزمن بالساعات
63.4	2157	2095	125	62	50	1	0
63.0	2162	2035	122	75	75	2	6
63.0	2305	2040	122	265	180	3	12
63.8	2578	2178	127	400	350	4	18
65.1	2927	2442	136	485	450	5	24
66.5	3239	2727	200	512	520	6	30
67.4	3289	2814	425	475	505	7	36
67.5	3231	2829	460	402	445	8	42
67.35	3140	2815	416	325	360	9	48
67.15	3063	2793	347	270	290	10	54
66.95	3005	2775	288	230	250	11	60
66.70	2955	2763	242	192	210	12	66
66.55	2904	2747	208	157	175	13	72
66.45	2839	2714	190	125	140	14	78
66.25	2771	2674	165	97	110	15	84
66.05	2702	2627	144	75	85	16	90
66.30	2622	2564	140	60	65	17	96
65.3	2536	2484	138	52	55	18	102
64.7	2449	2402	134	47	50	19	108
64.3	2359	2317	132	42	45	20	114
64.0	2269	2230	129	39	40	21	120
63.7	—	—	127	—	38	—	126

4 - من الشكل (b/2.8) والجداول (1.8) في الامكان رسم منحنى الخزن D كما في الشكل (3.8)، المنحنى الوسطي. إن الاحداثي السيني في الشكل (3.8) قد قسم إلى وحدات الخزن (Storage Units). إن كل وحدة خزن تساوي فترة الاستيعاب مضوية في واحد متر مكعب / ثانية. وبما أن مخطط الماء المتوقع في العمود (3) من الجدول (2.8) قد أعطي بفترات فاصلة مقدارها 6 ساعات فإن من الملائم عمل هذا المقدار مساوياً لفترة الاستيعاب. لذلك فإن كل وحدة خزن =  $6 \times 3600 \times 1 = 1/4 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{day} = 21.6 \times 10^3 \text{ m}^3 =$

إن استعمال هذه الوحدات ضروري لحفظ الوحدات في الأعمدة 4، 6 و 7 في الجدول (2.8) منسجمة.

والآن يضاف منحنى  $(S \pm 1/2 Dt)$  إلى جهتي منحنى الخزن. وطالما أن الاحداثي السيني هو بوحدات الخزن، فلذا كان الزمن = واحداً وفي الامكان رسم هذين المنحنيين دون عمل حسابات. عل سبيل المثال عندما يكون D مساوياً لـ 200. فإن  $(1/2Dt)$  يساوي 100، وبهذا فستظهر نقطتان بمقدار مائة وحدة خزن على جانبي منحنى الخزن (منحنى S) وبصورة عمالة يمكن رسم النقاط الأخرى.



الشكل (3.8)  
منحنيات خزن استيعاب الخزان



5 - في الامكان الآن البدء في عملية حساب الاستبعاد التي هي مبنية في الجدول (2.8). إن الأرقام الموجودة في العمود (3) هي معلومة.

للبدء في عملية الحساب، جد قيم العمود (4) بواسطة أخذ معدلات القيم المتعاقبة من الجريان الداخل.

والآن جد من المنحنى ( $S-1/2Dt$ ) في الشكل (3.8)، قيم هذا المقدار المتوافق مع  $D$  الذي يساوي 125 متر مكعب/ثا والتي تساوي 2095 ويدخل هذا الرقم في السطر الأول من العمود السادس.

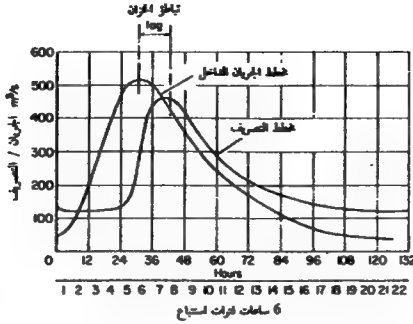
6 - إن العدد في العمود الرابع يضاف إلى العمود السادس ويوضع المجموع في العمود السابع (على سبيل المثال  $2157=2095+62$ ). لقد تم الآن تقدير الجهة اليسرى من المعادلة (2.8). جد قيم العمود السابع من المنحنى ( $S+1/2D$ ) واقراء قيم  $D$  المناظرة وأدخلها في العمود الخامس (على سبيل المثال) - من المنحنى  $S+1/2Dt$  جد قيمة  $D$  وتساوي 122 المناظرة إلى 2157.

7 - الآن استعمل القيمة الجديدة لـ ( $D$ ) لإيجاد ( $S-1/2Dt$ ) مرة أخرى كما في الخطوة الخامسة. لاحظ بأن في الامكان إيجادها بصورة مباشرة دون استعمال المنحنى وذلك بطرح قيمة ( $D$ ) من القيمة الموجودة في العمود السابع في السطر الذي فوق هذه القيمة (مثلاً  $2035=2157-122$ ). ويضاف الرقم في العمود الرابع إلى القيمة الجديدة في العمود السادس لإيجاد الرقم الجديد للعمود السابع (مثلاً  $2162=2035+127$ ).

أكمل الجدول ومن ثم أرسم مخطط-ماء الجريان الخارج (Outflow) (الشكل 4.8). إن ذروة الجريان الخارج يجب أن تقع على فترة التنبؤ لمخطط ماء الجريان الداخل. إن الفرق بين ذروة الجريان الداخل وذروة الجريان الخارج قد سميت بفترة تباطؤ الخزان (Reservoir Lag) وإن تقليل ذروة الجريان مع نشر منحنى التنبؤ تشير إلى التلطيف (Attenuation).

8 - إن قيم مناسيب المياه في العمود الثامن تستخرج من قيم التصريف والمنسوب في الجدول (1.8). وإن الطريقة الملائمة لإيجادهم هي برسم مخطط بياني واستخراج قيم المناسيب المقابلة إلى القيم الموجودة في العمود الخامس.

إن أعلى منسوب لمستوى الماء في الخزان للمثال المعطى هو 67.5 وهو يقع في الساعة (40).



الشكل (4.8)  
خطط الجريان الداخل والتصريف لخزان مثال (1.8)

#### 4.8 الاستيعاب في مجرى النهر: (Routing in a river channel)

إن حل معادلة الخزن لهذه الحالة هي أكثر تعقيداً منها في حالة الخزان البسيط. لذا فإن الخزن المحشور (Wedge storage) يدخل في الحساب. لهذا فإن الخزن سوف لا يكون دالة التصريف فقط كما هو الحال في المثال (1.8).

لقد اقترح (MaCarthy) (52) طريقة، تعرف الآن بطريقة (Muskingum Method)، وذلك بأن يعبر عن الخزن بدالة الجريان الداخل والتصريف معاً على الشكل التالي:

$$S = K [xI + (1-x)D] \quad (3.8)$$

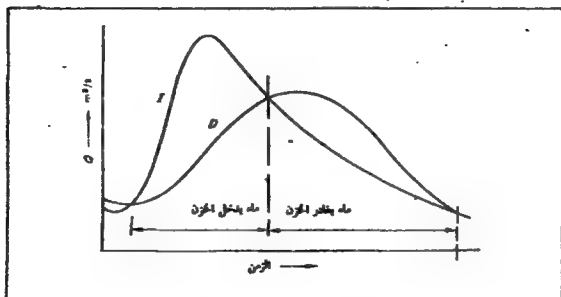
حيث أن:

$x$  = معامل بدون بعد للقطاع المعين من النهر.

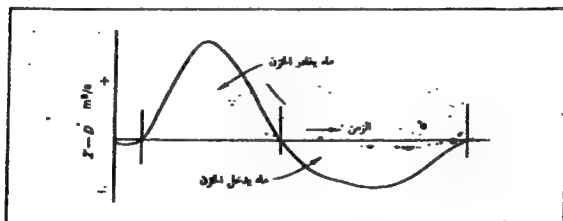
$K =$  ثابت الخزن بوحدة الزمن والذي يجب إيجاده من ملاحظة خطوط الماء للجريان البحتل (I) والجريان الخارج (D) لكلا المحطين.

في الامكان إيجاد قيم الثابتين كما يلي:

لتفرض بأن الشكل (5.8) يمثل الجريان الداخل (I) والتصريف الخارج (D) الأنين للنهر. بينما  $(I > D)$  فإن الماء يخزن في القطاع وعندما يكون  $(D > I)$  فإن الماء يغادر منطقة الخزن. في الامكان الآن رسم مخطط الفرق الذي يوضح ذلك (الشكل 6.8) ومن ثم المنحنى التراكمي للخزن (شكل 7.8).

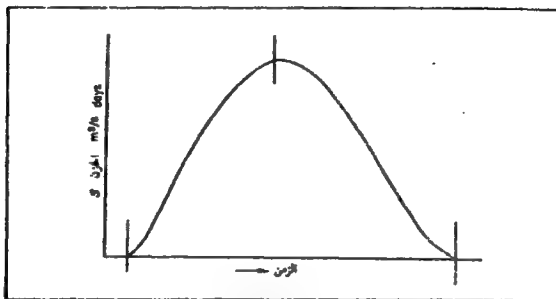


الشكل (5.8)



الشكل (6.8)

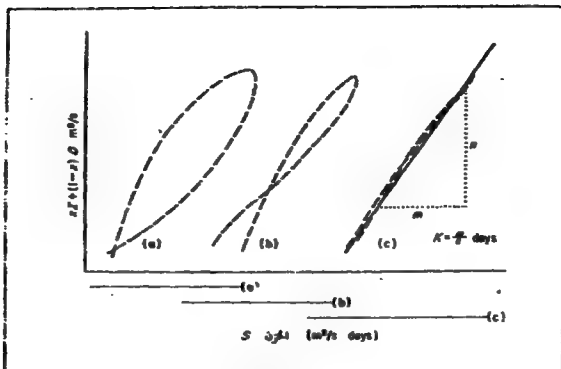
الآن لنفرض قيمة لـ (x) ولتكن (0.1) وأحسب قيمة المقدار  $(0.11 + 0.9D)$  للآوقات المختلفة وأرسمها مقابل القيم المتناظرة لـ (S) المأخوذة من الشكل (7.8).



الشكل (7.8)

إن الرسم البياني الناتج والذي يعرف بدارة الحزن (Storage Loop) موضح في الشكل (a/8.8). الآن خذ قيم أخرى لـ (x) (مثل 0.2، 0.3... الخ) إلى أن نجد علاقة خطية كما في الشكل (c/8.8) حينذاك تقر هذه القيمة لـ (x). وإن قيمة (K) نستخرج الآن بواسطة قياس انحدار هذا الخط.

من المطلوب هنا الاهتمام بالوحدات وغالباً ما يكون العمل بوحدة غير مألوفة ذات فائدة كبيرة لتقليل العمليات الحسابية وإبقاء الأرقام صغيرة. حل سبيل المثال، من المناسب التعبير عن الحزن (S) بوحدة المتر المكعب / ثانية. يوم: مثل هذه الوحدة هي كمية المياه الجارية بمقدار 1 متر مكعب / ثانية في اليوم الواحد وتساوي  $(86.4 \times 10^3)$  متر مكعب. فلذا ما عبر عن S بالمتر المكعب / ثانية اليوم. وإن الأحداثي الراسي للشكل (8.8) كان بوحدة المتر المكعب / ثانية فتكون وحدات (K) بالأيام.



الشكل (3.8)  
نماذج الخزن لاستيعاب النهر

إن ما يلي مقتبس من (Carter & Godfrey) (53) وهو خلاصة موجزة لاختيار قيم  $(x)$  و  $(K)$ :

إن العامل  $(x)$  يختار بحيث أن حجم الخزن المين هو نفسه سواء كان النسب صاعداً أو هابطاً. أما بالنسبة لتصريف المطفح (Spillway) من الخزن فإن  $(x)$  عند تقعر بأن تكون صفراً، وذلك لأن منسوب الخزان وبالتالي الخزن يحددان بصورة مفردة بواسطة الجريان الخارج، وبهذا فإن معدل الجريان الداخل تأثيراً قليلاً على الخزن من الممكن إهماله في الخزانات في أي وقت.

إن قيمة  $(x)$  للجريان التصاعدي المتظم تساوي (0.5) وإن لكل من الجريان الداخل والجريان الخارج وزناً متساوياً. في هذه الموجة لا يحدث تغير في الشكل، إن ذروة التصريف تبقى طبيعية. وهكذا فإن قيمة  $(x)$  مستغير من صفر إلى 0.5 ويكون مقدارها 0.25 كمعدل لقطاع النهر.

إن للمعامل  $(K)$  وحدات الزمن وهو الانحدار للعلاقة بين الخزن والتصريف

الموزون (Weighted discharge)، والتي هي في أغلب مسائل الفيضانات تقترب من الخط المستقيم. عند تحليل عدد من موجات الفيضان ظهر بأن الزمن اللازم لمركز كتلة موجة الفيضان للمرور من الطرف الأعلى للقطاع إلى الطرف الأسفل يساوي المعامل (K). إن الفترة بين الذروات تعطي قيمة تقريبية للمعامل (K)، وعادة في الامكان استخراج قيمة (K) بدقة وسهولة أكثر من المعامل (x).

باستخراج قيم (K) و (x) في الامكان استخراج مقدار الجريان الخارج (D) من القطاع، وذلك من دمج وتبسيط المعادلتين:

$$\frac{I_1 + I_2}{2} t - \frac{D_1 + D_2}{2} t = S_2 - S_1 \quad (1.8)$$

$$S_2 - S_1 = K[x(I_2 - I_1) + (1 - x)(D_2 - D_1)] \quad (4.8)$$

(إن المعادلة الأخيرة هي معادلة (3.8) لفترة زمنية متقطعة).

تتبع المعادلة التالية:

$$D_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 D_1 \quad (5.8)$$

حيث:

$$C_0 = -\frac{Kx - 0.5t}{K - Kx + 0.5t} \quad C_1 = \frac{Kx + 0.5t}{K - Kx + 0.5t}$$

$$C_2 = \frac{K - Kx - 0.5t}{K - Kx + 0.5t} \quad (6.8)$$

حيث:

$t$  = فترة الاستيعاب والذي يجب أن تؤخذ بين 1/3 إلى 1/4 الوقت اللازم لموجة الفيضان للانتقال خلال القطاع (تستخرج من مخطط ماء الجريان الداخل).

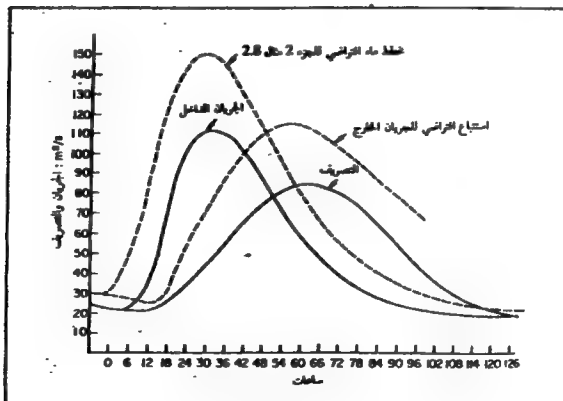
بوضع المثال التالي كيفية تطبيق هذه الطريقة.

□ مثال (2.8):

الاستباج في مجرى النهر بطريقة (Musskingsum) الجزء الأول مبين في الشكل (9.8) وهو مخطط الماء للجريان الداخل والجريان الخارج: اختار التوابت  $x$ ،  $K$  للقطاع.

إن البيانات مرتبة على شكل جدول في (3.8): إن مخططي الماء المعطيين قد أدرجا في العمودين (1) و (3) بحيث أن فترة الاستباج قد أخذت 6 ساعات. إن وحدات الخزن في هذه الحالة أخذت مساوية لـ  $1/4$  متر مكعب/ثانية—يوم طالما أن فترة الاستباج هي 6 ساعات أو  $1/4$  يوم. إن الأعمدة 4، 5 و 6 هي بساطة بيانات مجدولة للعمليات الموضحة في الأشكال (6.8) و (7.8).

بعد ذلك نختار قيمة  $(x)$ . في المرحلة الأولى 0.2 وإن القيمة في داخل القوس في المعادلة (3.8) تقيم في الأعمدة 7 و 8 و 9. بعد ذلك يرسم العمودان 8 و 9 في



الشكل (9.8)

مخططات الجريان الداخل والتصرف للقطاع

جدول (3.8)  
حسابات دارات الطون

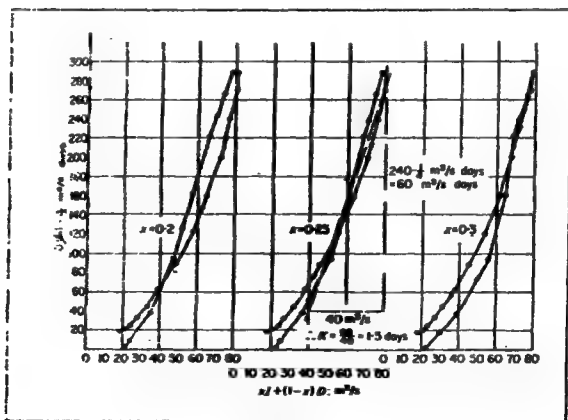
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
الزمن ساعة	الطون الداخل $m^3/s$	الطون الخارج $m^3/s$	I-D $m^3/s$	معدل الطون $m^3/s$ day	تراكم الطون $m^3/s$ day	0.21	0.8D	المجموع	0.25T	0.75D	المجموع	0.31	0.7D	المجموع
0	22	22	0	0	0	4	17	21	5	16	21	7	15	22
6	23	21	2	1	1	5	17	22	6	16	22	7	15	22
6	35	26	14	8	9	7	17	24	9	16	25	10	15	25
18	71	26	45	29	38	14	21	35	18	19	57	21	18	39
24	103	34	69	57	95	20	27	47	26	25	61	31	24	55
30	111	44	54	68	163	22	35	57	28	33	68	33	31	64
36	109	55	34	44	223	22	44	66	27	41	74	30	38	68
42	100	66	11	22	267	20	53	73	25	49	77	26	46	76
48	86	75	34	0	289	17	60	77	21	56	79	21	57	78
54	71	82	11	0	289	14	66	80	18	61	79	18	59	77
60	59	85	26	18	271	12	68	80	15	64	75	14	59	73
66	47	84	37	31	240	9	67	76	12	63	70	11	56	67
72	39	80	41	39	201	8	58	64	10	60	63	8	51	61
76	32	73	41	41	160	6	58	64	8	55	63	7	45	53
84	28	64	36	33	89	5	51	48	6	48	55	7	38	45
90	24	54	30	26	63	4	43	39	5	33	38	6	31	38
96	22	44	22	18	43	4	35	35	5	27	32	6	25	31
102	21	36	15	12	33	4	29	28	5	22	27	6	21	27
108	20	25	10	8	25	4	20	24	5	19	24	6	17	23
114	19	22	6	4	21	4	18	22	5	16	21	6	15	21
120	19	22	3	2	19	4	15	19	4	14	18	5	13	18
126	18	19	1	1	19	4	15	19	4	14	18	5	13	18



الشكل (10.8) حيث تتج الدارة التي في الجهة اليسرى. (لاحظ بأن لهذا الشكل أحداثيات أفقية ورأسية معكوسة بالقلوة مع الشكل (8.8). إن هذا غير مهم ويتفد فقط لانسجام الشكل).

نحرب الآن قيمة ثانية لـ  $x$  وتساوي 0.25 (أنظر الأعمدة 10-12) وإن المخطط الناتج هو المنحنى الأوسط في الشكل (10.8). إن قيمة  $K$  كانت (0.3)، نجدول وترسم أيضاً في الجهة اليمنى من الشكل. عند فحص المخططات نرى بأن القيمة الوسطى لـ  $x$  التي تساوي 0.25 هي أكثر قرباً من الخطأ المستقيم وهذا فإنها تختار لتكون قيمة (x).

تستخرج قيمة ( $K$ ) من قياس انحدار الخط الوسيط كما موضح في الشكل وقد وجد بأنه يساوي 1.5 يوم. وإن هذا يؤكد الوقت التثريبي بين الذروتين مساو لـ 33 ساعة من الشكل (9.8). لهذا يستعمل لهذا القطاع  $x$  مساوياً لـ 0.25 و  $K$  مساوياً إلى 1.5 يوم.



الشكل (10.8)  
طرات الحرز لقطاع مثال (2.8)

□ الجزء الثاني:

استعمل قيم المعامل (x) و (K) المستخرجة من مخططات الماء، ستيع الفيضان الذي في العمود (2) من الجدول (4.8) لحلال القطاع واستخرج خطط الماء لتجريان الخارج.

أولاً - أحسب قيم  $C_0$ ،  $C_1$  و  $C_2$  من المعادلات (6.8) باستعمال فترة الاستباض مساوية إلى 6 ساعات أو 1/4 يوم.

$$C_0 = -\frac{(1.5 \times 0.25) - (0.5 \times 0.25)}{1.5 - (1.5 \times 0.25) + (0.5 \times 0.25)} = -\frac{0.25}{1.25} = -0.2$$

وبصورة ماثلة نستخرج قيم  $C_1=0.4$  و  $C_2=0.8$  لفرض التحقيق يجب أن يكون مجموع هذه القيم مساوياً إلى واحد أي

$$(-0.2 + 0.4 + 0.8 = 1.0)$$

من المعادلة (5.8)

$$D_2 = -0.2I_2 + 0.4I_1 + 0.8D_1$$

إن قيم  $I_1$  و  $I_2$  معروفة من مخطط الماء للفيضان الافتراضي لكن قيمة  $D$  غير معلومة. افرض قيمة  $D_1$  مساوية لـ  $I_1$  التي هي 31 متر مكعب/ثانية. إن هذه ستكون قرية جداً من القيمة الحقيقية طالما أن النهر في حالة المنسوب الواطيء وستكون حالته قرية من الحالة الثابتة (Steady State). لذلك فإن أول معادلة يجب حلها هي:

$$\begin{aligned} D_2 &= -0.2(50) + 0.4(31) + 0.8(31) \\ &= -10.0 + 12.4 + 24.8 = 27.2 \end{aligned}$$

إن هذه القيمة لـ  $D_2$  ستكون بمثابة قيمة  $D_1$  بالنسبة إلى الخطوة التالية من الحسابات ومن ثم تبوب هذه القيم كما في الجدول (4.8).

جدول (4.8)  
استخراج التصريف

6	5	4	3	2	1
$D_2$ $m^3/s$	$0.8D_1$ $m^3/s$	$0.4D_1$ $m^3/s$	$-0.2I_2$ $m^3/s$	$I$ $m^3/s$	الساعات
31				31	0
27.2	24.8	12.4	-10	50	6
64.6	21.8	20.0	-17.2	86	12
29.5	19.7	34.4	-24.6	132	18
53.8	23.6	49.2	-29.0	145	24
71.0	43.0	58.0	-30.0	150	30
88.0	56.8	60.0	-28.8	144	36
102.4	70.4	57.6	-25.6	128	42
110.5	81.9	51.2	-22.6	113	48
114.6	88.4	45.2	-19.0	95	54
113.9	91.7	38.0	-15.8	79	60
109.4	90.8	31.6	-13.0	65	66
102.5	87.5	26.0	-11.0	55	72
94.8	82.0	22.0	-9.2	46	78
86.2	75.8	18.4	-8.0	40	84
78.0	69.0	16.0	-7.0	35	90
70.2	62.4	14.0	-6.2	31	96
63.2	56.2	12.4	-5.4	27	102
56.4	50.6	10.8	-5.0	25	108
50.3	45.1	10.0	-4.8	24	114
45.2	40.2	9.6	-4.6	23	120
41.0	36.2	9.2	-4.4	22	126

(\*) قيمة مفروضة.

إن مخطط الجريان الخارج يرسم بخطوط متقطعة بمسافة صغيرة أسفل الذروة كما في الشكل (9.8).

## 5.8 الاستبعاد بطريقة الرسم البياني:

(Graphical routing method)

إذا كتبت المعادلة (3.8) بعد تعويض  $x=0$  فإنها ستأخذ الشكل التالي

$$S = KD \quad (7.8)$$

وبالتفاضل تكون

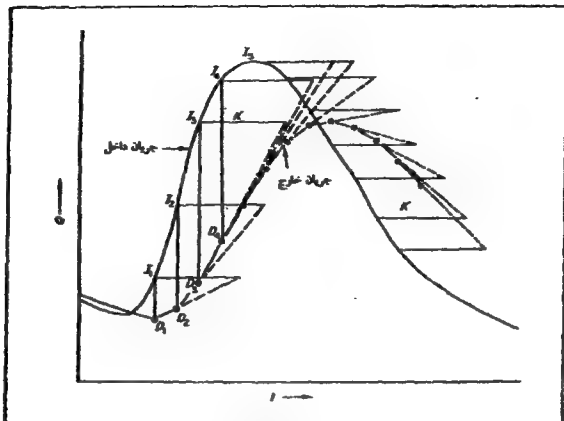
$$\frac{dS}{dt} = K \frac{dD}{dt}$$

و

$$I - D = \frac{dS}{dt} \quad (\text{من الجزء 2.8})$$

$$\therefore \frac{I - D}{K} = \frac{dD}{dt} \quad (8.8)$$

إن هذه المعادلة قد استعملت لاعطاء طريقة بيانية مبسطة للاستبعاد (54)، وحيث أن  $dD/dt$  يمثل الانحدار في مخطط ماء الجريان الخارج وإن  $(I-D)$  و  $(K)$  هي قيم قابلة للقياس بالمتر المكعب في الثانية واليوم. رُسم مخطط ماء الجريان الداخل  $(I)$  في الشكل (11.8) ومؤشرة قيم منفصلة لـ  $(I_1, I_2, I_3, \dots)$  بفترات من الزمن، وقد رسم ثابت الخزن  $(K)$  أفقياً من موقع كل قيمة لـ  $(I)$  ورسم خطاً مستقيماً من نهاية خط ثابت الخزن  $(K)$  إلى القيمة السابقة التصريف  $(D)$ . وبما أن هذا المستقيم يمثل  $dD/dt$ ، ففي الامكان استعمال الجزء السفلي منه في الإشارة إلى مخطط ماء الجريان الخارج الفعلي. ومن الطبيعي أنه كلما صغرت الفترات الزمنية كلما زادت دقة هذه الطريقة، وليس هنا داع لجعل الفترات الزمنية متساوية.



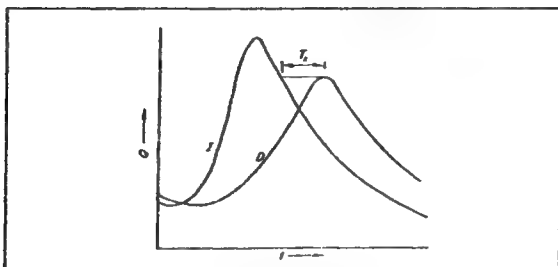
الشكل (11.8)  
الاستبعاد بطريقة الرسم البياني

إن قيمة (K) قد تكون متغيرة فإذا كان مقلد تغيرها معلوماً وبالإشارة إلى الشكل (10.8) مع الفرض بأن قيمة (K) متغيرة ومن الممكن استخراج هذا التغير كعلاقة مع الجريان الخارج من دلات الحزن حيث يعطى منحنيات تغير (K) بالنسبة إلى (D) كما هو موضح في الشكل (b/13.8).

في الامكان استعمال هذه الطريقة بصورة معكوسة، حيث من الممكن استخراج قيمة (K) في أي وقت من مخططات الماء الأتية للجريان الداخل (I) والجريان الخارج (D).

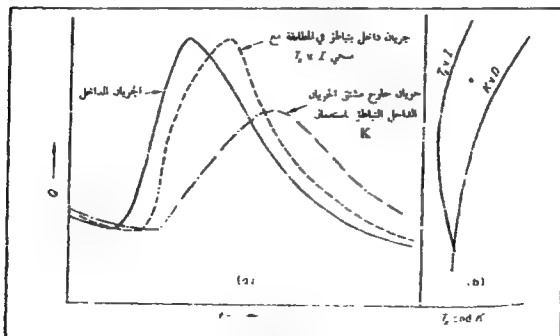
إن الوصف السابق عُدّ بالفرضية الابتدائية وهي أن قيمة (x) تساوي صفراً، وينطبق هذا على عمل الخزانات الصغيرة. ومع ذلك من الممكن توسيعها لكي تشمل القيم الموجبة من (x) طالما أن تأثير زيادة قيمة (x)، بثبات قيمة (K)، تعني تحريك منحنى الجريان الخارج بأكمله إلى الجهة اليمنى بحيث أن قيمة الذروة سوف لا تقع على

امتداد الانحسار لمخطط ماء الجريان الداخل وكذلك إلى زيادة مقدار الفروة للجريان الخارج فإذا حلت سلسلة متوالية من الفيضانات فمن الممكن استخراج التباطؤ (lag) والمتسبب من (x) ذات القيم الموجبة. إن التباطؤ الناتج من هذا السبب ( $T_2$ ) يقاس من ذروة منحنى الجريان الخارج إلى نفس مقدار التصريف على امتداد النضوب في منحنى الجريان الداخل كما هو موضح في الشكل (12.8) ومن الممكن عمل رسم بياني يربط ( $T_2$ ) مع القيم المناظرة لـ (I) (الشكل (b/13.8)).



الشكل (12.8)

التباطؤ نتيجة للتأخير  $x > 0$



الشكل (13.8)

الاستيعاب بطريقة الرسم البياني مع فترة تباطؤ وكا متغيرة

إن منحني الجريان الداخل للمقطع ذو ( $x > 0$ ) قد تختلف كما هو موضح في الشكل (13.8). إن مقدار هذا التباين لكل أقر قد أوجد من منحني ( $I_2 - I_1$ ) لاعطاء منحني الجريان الداخل ذي الخطوط المتقطعة والذي بدوره يستجيب بطريقة الرسم البياني وكأنه منحني الجريان الداخل لخزان بسيط. إنه من الملائم جداً رسم منحني تغير ثابت الخزن ( $K$ ) بالنسبة إلى الجريان الخارج ( $D$ ) بجانب منحني ( $I_2 - I_1$ ) لكي تؤخذ كل التغيرات بنظر الاعتبار في نفس الرسم البياني. إن وصفاً موسعاً لهذه الطرق وغيرها من طرق الاستيعاب المشابهة متوفرة في المصادر (56,55,31).

## 6.8 مخططات الماء القياسية الاصطناعية من استيعاب الفيضان:

(Synthetic unitgraph from Flood routing)

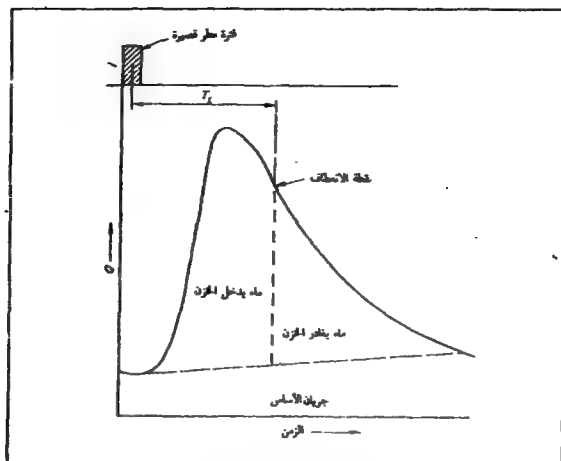
من الممكن الآن استعمال مبادئ استيعاب الفيضان في اشتقاق مخطط الماء القياسي لمستجمع يفترق إلى بياتات المطر والجريان السطحي. إن الطريقة ليست اصطناعية بالكامل طالما يجب عمل ملاحظة واحدة على الأقل لمخطط مياه الجريان السطحي. إذا أخذت الجاية بنظر الاعتبار كمجموعة متوالية من المساحات الصغيرة، حيث أن كلا من هذه المساحات تساهم في الجريان الداخل إلى شبكة من قنوات الصرف ذات طبيعة خزنية بتأثير مطر عاصف فجائي. إن مخطط الماء القياسي الفوري سيتكون من قسمين يمثل الأول الجريان الداخل للمطر والثاني الارتداد التدريجي لخزن الجاية. من الملائم جداً أخذ الخط الفاصل بين هذين القسمين عند نقطة الانعطاف (Point of inflexion) على امتداد الانحدار كما هو موضح في الشكل (14.8).

إن الفرضية تكون بحيث أن تصريف الجاية  $Q$  يتناسب طردياً مع الخزن  $S$  أي:

$$S = KQ \quad (9.8)$$

(المعادلة (3.8) عندما تكون  $x=0$  وباستعمال  $Q$  عوضاً عن  $D$ )

$$I - Q = \frac{dS}{dt} \quad (10.8)$$



الشكل (14.8)

مخطط ماء من مطر قصير يقرب إلى RHH

حيث يمثل I: الجريان الداخل الناتج عن المطر الآتي. وبما أن

$$\frac{dS}{dt} = K \frac{dQ}{dt}$$

من تفاضل المعادلة (9.8).

إذن

$$K \frac{dQ}{dt} = I - Q$$

وباستعمال الشرط  $Q=0$  في  $t=0$  يصبح حل المعادلة هو

$$Q = I(1 - e^{-t/K}) \quad (11.8)$$



وبما أن الجريان الداخل متوقف في نقطة الانعطاف في الزمن (T) مثلاً فإن الجريان الخارج في زمن (t) بدلالة التصريف ( $Q_T$ ) في الزمن (T) يكون

$$Q_t = Q_T e^{-\alpha(T-t)K} \quad (12.8)$$

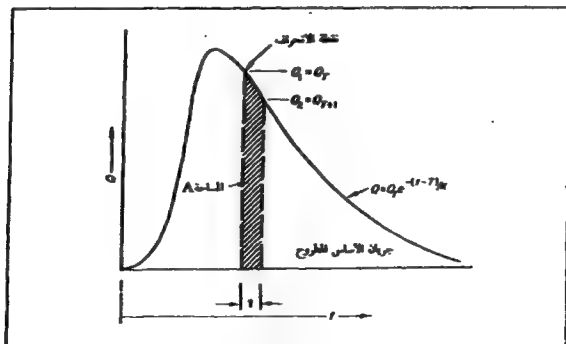
إن استخراج قيمة معامل الخزن (K) يجب أن يتم من مخطط الماء المتوفر للجباية كما هو موضح في الشكل (15.8) بأخذ قيمتين بفواصل وحدة الزمن عند نقطة الانعطاف. إن مخطط الماء يجب أن يكون لفترة مطر منفصلة واحدة. وليس من الضروري قياس كمية المطر المتساقط لكن من الضروري أن يكون قصير الأمد بصورة معقولة مثل ساعة أو ساعتين.

آنذاك

$$Q_1 = Q_T$$

ومن المعادلة (12.8)

$$Q_2 = Q_T e^{-\alpha(T-t)K}$$



الشكل (15.8)

استخراج قيمة K

وإن المساحة المظلة (A) ستكون

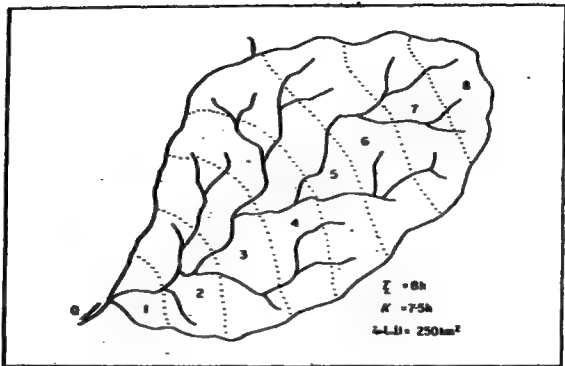
$$\begin{aligned} A &= \int_{t-T}^{t-T+1} Q_T e^{-K(t-T+1)} dt \\ &= \left[ -\frac{Q_T}{K} e^{-K(t-T+1)} \right]_0^1 \\ &= \left[ \frac{Q_T}{K} (1 - e^{-K}) \right] \\ \therefore A &= K(Q_1 - Q_2) \end{aligned}$$

إن الملاحظة الثانية التي يجب عملها من مخطط الماء المتوفر هي تباطؤ الجابية ( $T_L$ ) (Catchment Lag). ويعني أقصى وقت يستغرقه الماء في الجريان خلال الجابية. ومن الممكن أخذها كالزمن من مركز كتلة المطر المسبب إلى نقطة التغير على امتداد الانحدار (وبما أن المطلوب أن تكون استدامة المطر قصيرة لذلك فإنه سوف لا يسبب أي خطأ يذكر).

إن الخزن في الجابية سيدرس الآن كخزان افتراضي يقع عند نقطة الجريان الخارج. وعبر عن الجريان الداخل بمنحنى الزمن - المساحة للجابية، حيث تخطط كل مساحة جزئية بحيث أن كل المطر المتساقط عليها آنياً له نفس وقت الجريان إلى نقطة التصريف كما هو موضح في الشكل (16.8).

إن منحنى الزمن - المساحة المتساقط عليه وحدة مطر آتية سيتابع خلال الخزان، في نفس الطريقة المذكورة في (3.8) ومنها يستخرج الجريان الخارج  $Q$ . إن الجريان الخارج سيمثل مخطط الماء القياسي الآني (IUH) للجابية ومن الممكن تحويله إلى مخطط الماء القياسي بزمن (n) ساعة.

إن هذه الطريقة بصورة أساسية منسوبة إلى (Clark) (57) ولو أن (K) قد استخرجت من قبل (O'Kelly) (58). وإنما معرضة للنقد في مجالات عديدة وهناك أساليب معطورة حديثة متوفرة في الوقت الحاضر (59,60,61) لكن من مزايا هذه الطريقة هي بساطتها بالمقارنة مع الطرق الأخرى. وإن اشتقاقها لا يعتمد على مخطط الماء الملاحظ لوحدة الشدة.



الشكل (16.8)  
جبلية مخطوطات وقت جريان متساوي

هناك ميزة أخرى هي بدلاً من اشتقاق IUH (ومن ثم مخطط الله القياسي (n) ساعة) فإن المطر المخطط قد يستعمل رأسياً في منحى الزمن - المساحة، حسب التغيرات المساحية في أي كمية مرغوبة. ويتبع هذا مخطط الله الأدنى للمطر المصمم (Design storm) والذي في الامكان تحويله إلى مخطط ماء للمطر المصمم للشدة المرغوبة بطريقة أخذ معدلات الاحداثيات الرأسية كما شرحت سابقاً.

والمثال المحلول لهذه الطريقة مظهر أدناه:

□ مثال (3.8):

يبين الشكل (16.8) جبلية مساحتها 250 كم<sup>2</sup>. والمعلومات المستقاة من مخطط ماء ذي استدامة قصيرة T<sub>E</sub> تساوي 8 ساعات و K تساوي 7.5 ساعة. اشتق مخطط الله القياسي لاستدامة 2 ساعة.

1 - قسم المساحة إلى 8 أقسام بواسطة خطوط ذات وقت جريان متساوي (Isochrones). وسيفرض بأن كل الجريان السطحي الواقع على أحد هذه الأقسام سيصل بفترة قدرها ساعة واحدة إلى نقطة القياس.

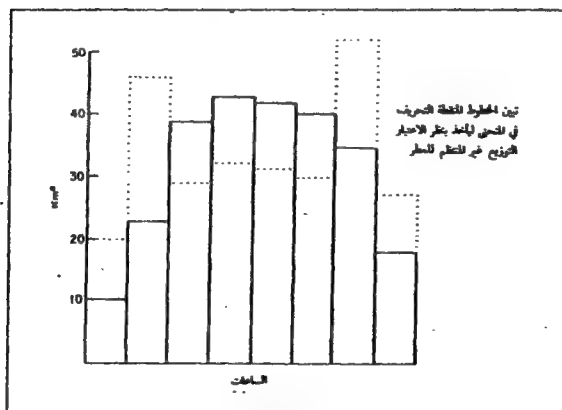
2 - قس بواسطة المماسح (Planimeter) مساحة كل من هذه الأجزاء وإن مساحتها كالتالي:

الساعة	1	2	3	4	5	6	7	8
المساحة كم <sup>2</sup>	10	23	39	43	42	40	35	18

3 - أرسم منحنى التوزيع للسيح السطحي مستعملاً المساحات الجزئية كالمحور العمودي وقدرات 1 ساعة على المحور الأفقي. إن الناتج موضح في الشكل (17.8) وهو منحنى الوقت - المساحة المرسوم بالخطوط الكاملة.

4 - يعامل منحنى الوقت - المساحة الآن كما لو هو الجريان الداخل (I) الناتج عن وحدة المطر الصافي على مساحة الحماية للخزان الفرضي، الواقع عند نقطة التصريف، بخزن مساوياً للخزن في الحماية لذلك من المعادلة (1.8)

$$\frac{I_1 + I_2}{2} \cdot t - \frac{Q_1 + Q_2}{2} \cdot t = S_2 - S_1$$



الشكل (17.8)  
توزيع أجزاء المساحة ومنحنى الوقت - المساحة

ومن المعادلة (9.8)

$$S_1 = KQ_1$$

$$S_2 = KQ_2$$

ومن هذه المعادلات نحصل على

$$Q_2 = m_0 I_2 + m_1 I_1 + m_2 Q_1$$

حيث

$$m_0 = \frac{0.5t}{K + 0.5t} \quad m_1 = \frac{0.5t}{K + 0.5t} \quad m_2 = \frac{K - 0.5t}{K + 0.5t}$$

وبما أن منحنى التوزيع هو قيد الاستعمال  $I_1 = I_2$ ، إذن

$$Q_2 = m' I + m_2 Q_1$$

حيث

$$m' = \frac{t}{K + 0.5t}$$

في هذه الحالة

$$m' = \frac{1}{7.5 + 0.5} = \frac{1}{8} = 0.125$$

و

$$m_2 = \frac{7.5 - 0.5}{7.5 + 0.5} = \frac{7}{8} = 0.875$$

$$\therefore Q_2 = 0.125I + 0.875Q_1$$

5 - رتب المعلومات في جدول وأحسب  $Q_2$  كما في جدول (5.8). إن  $Q_2$  هو غلط الماء القياسي الاصطناعي الآلي المطلوب.  
أحسب ثابت التحويل للعمود 3.

جدول (5.8)

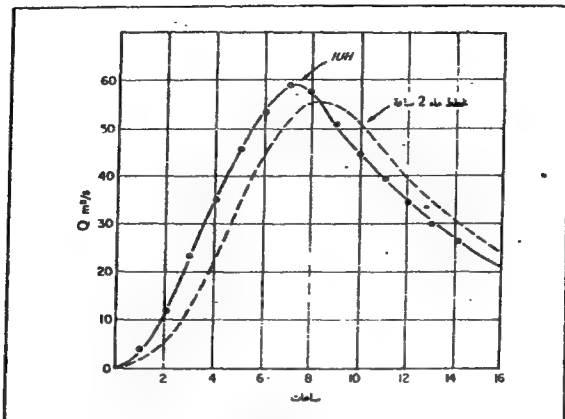
خطط الماء القياسي (IUH) بطريقة الاستيعاب

6	5	4	3	2	1
2 ساعة خطط الماء القياسي $m^3/s$	$Q_2 =$ $3+4=IUH$ $m^3/s$	$0.875 \times$ عمود 5 $m^3/s$	$0.125 =$ عمود (2) $2.78 \times 0.125 \times$ $m^3/s$	خطط الوقت - المساحة كم <sup>2</sup>	الزمن ساعة
0	0	0	0	0	0
	3.5	0	3.5	10	1
5.5	11.1	3.1	8.0	23	2
	23.2	9.7	13.5	39	3
23.1	35.2	20.3	14.9	43	4
	45.4	30.8	14.6	42	5
44.3	53.5	39.6	13.9	40	6
	58.9	46.8	12.1	35	7
55.5	57.6	51.4	6.2	18	8
	50.5	50.5	0	0	9
50.8	44.1	44.1	0	0	10
	39.6	39.6	0	0	11
39.3	34.6	34.6	0	0	12
	30.2	30.2	0	0	13
30.5	26.4	26.4	0	0	14
الخ	الخ	الخ	0	0	15

1 سم من المطر على مساحة 1 كم<sup>2</sup> في ساعة واحدة.

$$2.78 = \frac{10^6 \times 10^{-2}}{3600} \text{ متر مكعب / ثانية}$$

6 - أرسم IUH وخطط الماء القياسي لـ 2 ساعة للأعمدة (5) و (6) كما في الشكل (18.8).



الشكل (18.8)  
IUH المشتق وخطط ماء 2 ساعة

لتوضيح سهولة هذه الطريقة وذلك لملائمتها لتغير المطر بالنسبة للمساحة. لنفرض بأن مطراً قد سقط بمقدار 20 ملم على المساحة الفرعية (2,1) و (7,5) ملم على (6,5,4,3) و 15 ملم على المساحات (8,7) وكان استدامة المطر ساعة واحدة. يحول منحني المساحة - الوقت لهذه النسب كما هو موضح في المنحنى المرسوم بخطوط متقطعة في الشكل (17.8) قبل البدء بعملية الاستبعاد لاستخراج خطط الماء القياسي كالسابق، ومن ثم تحويله إلى خطط الماء القياسي لعدد (n) من الساعات بعملية استخراج معدلات كل زوج من الاحداثيات الرأسية بتباعد أفقي مقداره (n) ساعة. هناك انحراف جزئي في الحالة الأخيرة وقد أجاز استعمال مصطلحي IUH وخطط الماء القياسي لأن المطر غير متجانس على كل الجاية كما هو مطلوب في التصريف.





## التنبؤ الهيدرولوجي

### 1.9 المقدمة:

سردت وشرحت في الفصول السابقة بالتفصيل العمليات الفيزيائية المختلفة في الدورة الهيدرولوجية. وقد اقترحت طرق تقسيم لكل عملية وتم شرحها في أغلب الأحيان، ربما يستعمل التكنيك المشرح لتهيئة أجوبة مقدارية لعدة أسئلة.

إن المشكلة التي يجب أن تعالج الآن هي كيف تستعمل هذه المعرفة للتنبؤ من المعلومات المتوفرة؟ ماذا سيحدث في المستقبل؟ هذه هي مشكلة جوهرية لجميع التصميمات الهندسية، طالما يصمم وينشئ المهندس أعمالاً لتهيئة احتياجات المستقبل، سواء منهم المهندس الانشائي يصمم مجمعاً ادارياً، أو المهندس الكهربائي الذي يصمم منظومة كهربائية لتوافق الاحتياج المستقبلي الكهربائي، أو المهندس الهيدروليكي، الذي يصمم خزانات لتوافق الاحتياج المستقبلي من الماء.

هناك اختلاف رئيس واحد في الحالات الثلاث. يتعامل المصمم الانشائي مع مواد متجانسة والتي لها خواص معروفة في حدود ضيقة. ستعمل البناية من قبل ناس وتلك الأبعاد والفراغات والأوزان من الممكن التنبؤ بها بشكل دقيق لحد ما. وعليه أن يتقلب على الحوادث الطبيعية والتي هي بشكل ثقل

رياح وهزات ارضية. وهذه الاحتمالات توجد مجموعة قوانين عملية وتوصيات متوفرة له.

ويجب على مصمم المنظومة الكهربائية أن يستجج منحى ارتفاع الاستهلاك للسنوات السابقة، ويختير اتجاهات الصناعة وعادات الأشخاص، ليقرر كم السعة التي يجب أن يوفرها في السنوات المستقبلية. لكن هذه المهمة معقدة ومستمرة وهي تقريباً خالية كلياً من الحوادث الطبيعية إلا من الكوارث والتي لا يمكن أن يتوقع حدوثها.

أما تعامل مهندس الهيدروليك في الجهة الأخرى، في تصميم خزان، تقريباً مع الحوادث الطبيعية على وجه الحصر: في حدوث السقيط والتبخر وهكذا. وعادة تلك الحوادث عشوائية في الطبيعة وربما لها أي قيمة غير سالبة. في الحقيقة إذا قيست كمية المطر في مكان يومياً لفترة من الزمن. وستولد معرفة عن مائة احتمال المطر اليومي، ولكن لم تكن مستمرة بشكل طويل وتوصل إلى أي احتمال ضيق لقيمة المطر اليومي إلا بشكل بدهي.

ويسأل الهيدرولوجست بشكل مستمر عن ما سيكون تصريف الذروي المحتمل لنهر. ولا توجد قيمة كبيرة. ومن الممكن اعطاء الجواب الوحيد من المعلومات المتوفرة، وعمل افتراضات مختلفة، سيظهر بأن قيمة محددة سوف لا تزيد بالمعدل أكثر من مرة في عدد محدد من السنين. وعلى تلك التخمينات فإن جميع التصميم الهيدرولوجية يجب أن تجري، ويتعامل هذا الفصل مع الطرق التي ربما يزال بها بعض الشكوك أو تضيق في الحد.

## 2.9 صيغ الفيضان: (Flood formula)

إن التغير العشوائي الممين لتصريف فيضان نهر هو ذو أهمية للمهندسين والهيدرولوجستين من الأيام الأولى للهيدرولوجي واقترحت عدة صيغ لتعريف أقصى فيضان (Maximum flood) والتي من الممكن أن تحدث لجاية معينة الصيغ هي تجريبية بالطبيعة، واشتقت من الفيضانات المسجلة على جاية معينة وعادة تكون بالشكل  $Q = CA^n$  حيث

$Q$  = تصريف الفيضان م<sup>3</sup>/ثانية (أو قدم<sup>3</sup>/ثانية)

$A$  = مساحة الجاية في كيلومتر مربع (أو ميل مربع).

$n$  = معامل عادة بين 0.5 و 1.25.

$C$  = معامل يعتمد على المناخ والجاية والوحدات.

ومن الأمثلة الأولى لتلك الصيغ هي لـ (Dickens) والتي اشتقت في الهند.

$$Q = 11.5a^{0.75}$$

حيث أن  $Q$  م<sup>3</sup>/ثانية و  $a$  كيلومتر مربع، لم تأخذ هذه الصيغة بنظر الاعتبار رطوبة التربة والمطر والانحدار وخطوط العرض، الخ. ولهذا بشكل واضح قيمة قليلة جداً في التطبيق العام. هذا صحيح لجميع تلك الصيغ رغم أنها تستعمل كثيراً للحصول على تقدير أولي سريع للأقصى الفيضان والذي قد يقبل. وتلك الأغراض اقترح (63) (Morgan) الصيغة للفيضان الفاجع في اسكوتلندا وويلز.

$$Q = 53m^{0.5}$$

حيث أن  $Q$  في متر<sup>3</sup>/ثانية و  $M$  مساحة الجاية في كيلومتر مربع، وإضافة الرأي السائد للفترة المتكررة  $T$  (بالسنين) وذلك بالفتباس

$$\text{الفيضان المصمم} = \text{الفيضان الفاجع} \times (T/500)^{1/3}$$

وللمحالات التي فيها لا يثبت الفيضان الفاجع المتخذ خطورة إلى حياة البشر أو أمان السدة. وهناك صيغة ماثلة من نفس النوع تستعمل بشكل واسع في الولايات المتحدة.

$$Q_{av} = 0.013CA^{0.8}$$

حيث:

$A$  = مساحة الجاية في كيلومتر مربع.

$C$  = معامل عادة يؤخذ كـ 0.75.

$Q_{av}$  = معدل تصريف الفيضان السنوي في متر مكعب / ثا

وعوضت قيمة  $Q_m$  في المعادلة

$$Q_m = Q_{av}(1 + 0.8 \log T)$$

حيث  $T$  فترة متكررة بالسنوات و  $Q_m$  الفيضان السنوي الأعلى الأكثر احتمالاً. كذلك الحسابات السهلة العمل، هي لقيمة محددة، وهما تعابير مشتقة لتعطي جميع الحوادث المسجلة مع أمان غير محدد وكما أنها لا تأخذ بنظر الاعتبار العمليات الفيزيائية المتضمنة في السيج، وتكون عادة محافظة جداً.

### 3.9 تحليل التكرار: (Frequency analysis)

#### 1.3.9 سلسلة من الحوادث:

الطريقة القادمة هي استعمال طرق الاحصاء لتوسيع المعلومات المتوفرة وبالتالي التكهّن بالتكرار المتوقع لحدث الحوادث الطبيعية. المعلوم تسجيلات وافية، ستين الطرق الاحصائية بأن الفيضانات ذات القيم المينة ربما، بالمعدل، تتوقع سنوياً، لكل عشر سنوات، كل 100 سنة وهكذا. ربما يتساءل ما إذا كانت أية طريقة للاستنتاج إلى 100 سنة ذات أهمية عندما تؤسس على (مثال) 30 سنة من التسجيلات. وما زال أكثر عملاً ينطبق على فيضان 1000 سنة وتخمينات مماثلة.

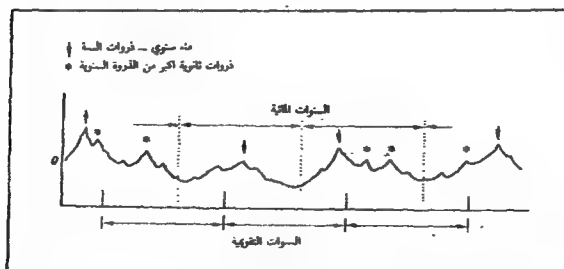
نقطة أخرى للتأكيد عليها هي الطبيعة غير الدورية للحوادث العشوائية. إن فيضان 100 سنة (بمعنى آخر، الفيضان الذي سيحدث بالمعدل مرة في 100 سنة) ربما يحدث السنة القادمة، أو ليس في 200 سنة أو ربما يزيد عليه عدة مرات في الـ 100 سنة القادمة. إن الدقة في تخمين قيمة (على سبيل المثال) فيضان الـ 100 سنة يعتمد على طول التسجيل وجريان الفيضان، وشخص يحفظ إذا كان لديه تسجيلات لأكثر من 30 سنة. ويتلخص تلك التحذيرات، سيكون تحليل التكرار ذا فائدة كبيرة في ترجمة وتقييم الحوادث كما في جريان الفيضان والمخاطر في حدوثها في فترات معينة.

من المهم بشكل واضح لتعريف ماذا يعني بالحدث؟ على سبيل المثال إذا كانت هناك تسجيلات لنهر كل يوم لـ 10 سنوات، سيكون هناك تقريباً 3650 قراءة. فذلك القراءات هي حوادث عشوائية معتمدة طالما الجريان في أي يوم هو معتمد إلى حد ما

على ذلك اليوم الذي قبله، وعليه فإن تلك الملاحظات لا تتضمن سلسلة غير معتمدة. ويعبر عن مصفوفة تلك الملاحظات بالمتالفة الكاملة.

يفترض أن من تسجيل 10 سنوات نأخذ في كل سنة الحدث الأقصى. ومتشأ تلك سلسلة غير معتمدة وبشكل غير محتمل كثيراً وطالما كان الجريان الأقصى للسنة متأثراً بذلك للسنة السابقة. حتى هذا، الخطر واجب، ربما يشاهد في الشكل (1.9) حيث مؤشر السنوات المائية، تقاس بين فصول الجريان الأدنى، وكما مؤشر السنوات التقويمية. ربما نحوي السنة التقويمية على رقم ستين مائتين، فعليه من الضروري تحديد السنوات المائية التي تستعمل في الحوادث المعركة. ويدعى مثل هذا الاختيار بالمتالفة السنوية. إن تلك المتواليات معرضة إلى الاعتراض وذلك أن بعض الذروات اصغر حوادث من الذروات الثانوية (مؤشرة بنجمة في الشكل 1.9) للسنوات الأخرى. ربما يزال الاعتراض بجدولة متواليات الاستدامة الجزئية، التي فيها عزل الوقت الضيق لا يبقى شرط. تضمنت جميع الذروات التي تكون أعلى من قيمة اختيارية (على سبيل المثال أقل ذروة سنوية). على أن يشترط، في تقدير المؤلف، بأنها حوادث غير معتمدة، غير متأثرة بتصاريف الذروة السابقة. فإذن تسمح متواليات الاستدامة الجزئية الاعتراض للتحكم الشخصي وليس هي بشكل ضيق، غير معتمدة وعشوائية.

تعتمد المتواليات التي تستعمل على الفرض من التحليل. لمعلومات عن حوادث



الشكل (1.9)  
سلسلة من الحوادث السنوية والجزئية

متكررة نسبياً، على سبيل المثال، حجم الفيضان المتوقع خلال فترة الانشاء لسد كبير (4 سنوات على سبيل المثال)، فعليه ربما تكون متواليات جزئية الأفضل، بينما للفيضان التصميمي لمطبخ سد والذي، يجب أن لا يزيد في عمر السد (100 سنة) ستكون المتواليات التوزيع الصحيح أو المتواليات السنوية مناسبة. بالحقيقة، في الفيضانات الكبيرة يوجد فرق صغير في فترة التكرار بين الاثنين. متواليات الحوادث الكاملة، رغم أنها ليست غير معتمدة، لكن أقل قيمة في التصميم عندما يكون الاحتياج إلى الكمية بدلاً من قيم الذروة.

### 2.3.9 احتمال حدث الـ $N$ - سنة:

إن الاصطلاح فترة التكرار (وكذلك يطلق عليها فترة الرجوع) يرمز له بـ  $T_r$  هو الوقت الذي، بالمعدل، يتقضي بين حدثين متساويين أو يزيد على مستوى معين. وفي معنى آخر، إن الحدث  $N$ -سنة هو الحدث الذي يتوقع أن يتساوى أو يتجاوز، بالمعدل، كل  $N$  سنوات وله فترة تكرار  $T_r$  لـ  $N$  سنوات.

كما ذكر سابقاً لا يوجد ضمان بأن يحدث الحدث  $N$ -سنة دوري. لكن له احتمال حدوث في أي فترة معينة مأخوذة بنظر الاعتبار.

بعد ذلك ستمثل  $P(X \leq x)$  احتمال  $x$  التي سوف لا تتساوى أو يتجاوز في فترة زمن معينة.

وستمثل  $P(X \leq x)_n$  احتمال  $x$  التي سوف لا تتساوى أو تتجاوز في  $n$  من تلك الفترات.

من المتواليات غير المتعمدة ومن قاعدة ضرب الاحتمال

$$\begin{aligned} P(X \leq x)_n &= [P(X \leq x)]^n \\ &= [1 - P(X \geq x)]^n \\ \therefore P(X \geq x)_n &= 1 - [1 - P(X \geq x)]^n \end{aligned}$$

الآن

$$\begin{aligned} T_r &= \frac{1}{P(X \geq x)} \\ \therefore P(X \geq x)_n &= 1 - \left[1 - \frac{1}{T_r}\right]^n \end{aligned}$$

فعلية على سبيل المثال، احتمال  $X \geq x$ ، حيث أن  $x$  قيمة الفيضان الذي فترة رجوعه 20 سنة، الحادث في فترة 3 سنوات هي:

$$\begin{aligned} P(X \geq \text{فيضان 20 سنة}) &= 1 - [1 - \frac{1}{20}]^3 \\ &= 1 - [0.95]^3 \\ &= 1 - 0.857 \\ &= 0.143 \text{ أو } 14.3\% \end{aligned}$$

يبين الجدول (1.9) الاحتمال لـ فيضان  $N$  - سنة الحادث في فترة معينة. على سبيل المثال، من الممكن المشاهدة من الجدول بأن هناك فرصة مقدارها 1% لفيضان

### جدول (1.9)

النسب المئوية للاحتمال لفيضان  $N$  - سنة يحدث في فترة معينة

عدد السنوات في الفترة								عدد السنوات في الفترة
N = معدل فترة الرجوع $T_r$ : سنوات								
1000	500	200	100	50	20	10	5	
0.1	0.2	0.5	1	2	5	10	20	1
0.2	0.4	1	2	4	10	19	33	2
0.3	0.6	1.5	3	6	14	27	45	3
0.5	1	2.5	5	10	22	41	63	5
1	2	5	9	18	40	65	87	10
2	4	10	17	33	64	88	98	20
3	6	14	24	45	78	96	99.8	30
6	11	26	43	70	95	99.8	—	60
9	18	39	60	87	99.4	—	—	100
18	33	63	74	98.2	—	—	—	200
39	63	92	99.6	—	—	—	—	500
63	96	99.3	—	—	—	—	—	1000

حيث لم تدون % للاحتمال أكبر من 99.9.

200 سنة يحدث في الستين القادمين وفرصة مقدارها 8% سوف لا يحدث في الـ 500 سنة القادمة.

إذا عرف الاحتمال  $P(X > x)_n$  بحكمة علمية، ربما سيجد قيمة  $n$ ، الفترة التصميمية، من

$$P(X \geq x)_n = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^n$$

$$1 - P(X \geq x)_n = \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^n = \left(\frac{T_r - 1}{T_r}\right)^n$$

$$\log(1 - P(X \geq x)_n) = n \log \left(\frac{T_r - 1}{T_r}\right)$$

$$\therefore n = \frac{\log 1 - P(X \geq x)_n}{\log \frac{(T_r - 1)}{T_r}}$$

□ مثال (3.9):

ما المدة التي من المحتمل أن يبقى فيها صندوق الازاحة (Coffer dam) في نهر، مع فرصة على أن لا يغطى بالماء إذا كان مصمم أن يكون مؤمن لـ 10 سنوات فيضان؟

هنا، الحكمة العلمية ستكون فرصة، فلذا  $P(X \geq x)_n = 0.50$  و  $T_r = 10$ .

$$n = \frac{\log(1 - 0.5)}{\log \frac{T_r - 1}{T_r}} = \frac{\log 0.5}{\log 0.9} = \frac{1.699}{1.954} = \frac{0.301}{0.046} = 6.5 \text{ yr}$$

### 3.3.9 رسم الاحتمال الياني:

إذا توفرت قائمة بمتواليات الحوادث وربما بعد ذلك كل منها يمتنع تسلسل،  $m$ ، ابتداء من  $m=1$  لأعلى قيمة،  $m=2$  للقيمة العليا التالية وهكذا: بشكل تنازلي. وتحسب فترة التكرار  $T_r$  (بالسنين) لكل حدث من

$$T_r = \frac{n+1}{m} \quad (1.9)$$



حيث:

$m$  = تسلسل الحدث.

$n$  = عدد الحوادث.

□ ملاحظة: عندما ترسم المتواليات ذات الاستدامة الجزئية، فمن الاعتيادي تقليص عدد الحوادث إلى  $n$  الأعلى، حيث  $n$  = عدد سنوات الملاحظة.

وتستعمل صيغ أخرى مختلفة عوضاً عن المعادلة (1.9) والتي هي شائعة الاستعمال: على سبيل المثال، معادلة كاليفورنيا (64)

$$T_r = \frac{n}{m}$$

ومعادلة (Hazen) (65)

$$T_r = \frac{2n}{2m - 1}$$

يبين الجدول (2.9) قائمة لمعدل الجريان الأقصى اليومي السنوي لنهر التاميس في السد القاطن (Teddington)، للسنوات 1882-1967. وهذه متواليات صحيحة سنوية لحوادث عشوائية ومع فترات وجوع محسوبة.

وقد تم الحصول على قيم  $T_r$ ، والسؤال الذي يطرح نفسه، هل من المستطاع أن تستعمل قيم  $Q$  و  $T_r$  في القائمة لاستنتاج المعلومات وللإستدلال على فترة الرجوع لفيضانات صارمة؟ ربما نحاول في عدة طرق، كما هي مشروحة أدناه.

(أ) ترسم  $Q$  ضد  $T$  على احداثيات خطية. موضح هذا في مثال الشكل (2.9) لمعلومات نهر التاميس المبينة في الجدول (2.9). يعتمد تمديد المنحنى لقيم أعلى لـ  $Q$  و  $T_r$  تقريباً وبشكل مطلق على بضع النقاط العليا الموجودة.

(ب)  $Q$  خطي و  $T_r$  لوغاريتمي. وقد رسمت نفس المعلومات بشكل بياني في

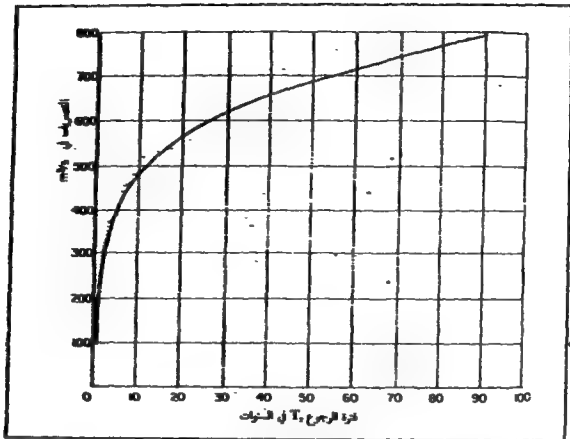
جدول (2.9)

القيم القصوى لمعدل الجريان اليومي لسنوات 1967-1982 لهر تايس في Teddington

السنة	الاحتمال		فترة الرجوع $T_r$ yr	الترتيب $m$	$Q_m$ m <sup>3</sup> /s	السنة	الاحتمال		فترة الرجوع $T_r$ yr	الترتيب $m$	$Q_m$ m <sup>3</sup> /s
	$P$	$Q$					$P$	$Q$			
1982	—	—	—	—	—	1923	522	7	12-3	8-1	—
1983	292	66	1-07	53-5	1926	370	25	3-44	29-1	—	—
1984	231	65	1-32	75-5	1927	375	23	3-74	26-8	—	—
1985	230	67	1-28	78-0	1928	326	6	14-3	7-0	—	—
1986	244	59	1-46	68-6	1929	235	62	1-39	72-0	—	—
1987	284	48	1-79	55-4	1930	352	4	21-5	4-5	—	—
1988	280	73	1-18	84-9	1931	328	49	1-25	80-3	—	—
1989	237	41	1-41	71-0	1932	274	49	1-75	57-0	—	—
1990	205	34	1-16	88-0	1933	478	9	9-35	10-5	—	—
1991	171	81	1-06	93-2	1934	95	86	1-01	99-0	—	—
1992	339	32	2-09	37-2	1935	227	71	1-21	82-5	—	—
1993	300	42	2-04	48-9	1936	478	10	8-6	11-4	—	—
1994	173	79	1-09	92-0	1937	430	14	6-15	16-3	—	—
1995	709	1	—	1-16	1938	247	56	1-48	67-5	—	—
1996	202	74	1-13	86-4	1939	360	26	3-30	30-2	—	—
1997	351	29	2-96	33-6	1940	410	15	5-74	17-4	—	—
1998	171	80	1-07	93-0	1941	384	19	4-32	22-1	—	—
1999	262	51	1-69	59-2	1942	298	44	1-95	31-2	—	—
2000	513	9	17-2	5-6	1943	437	11	7-4	12-8	—	—
2001	250	77	1-12	89-5	1944	115	83	1-04	96-5	—	—
2002	142	82	1-05	95-5	1945	261	52	1-45	66-5	—	—
2003	386	17	5-06	19-8	1946	257	53	1-42	61-6	—	—
2004	516	8	10-8	9-3	1947	714	2	43	2-3	—	—
2005	229	68	1-26	79-0	1948	227	70	1-23	81-5	—	—
2006	249	57	1-51	66-3	1949	299	43	2-00	50-0	—	—
2007	220	72	1-19	83-7	1950	326	35	2-46	40-7	—	—
2008	376	21	4-1	24-4	1951*	385	16	4-70	20-9	—	—
2009	204	73	1-15	87-1	1952	377	20	4-3	23-2	—	—
2010	231	66	1-30	76-7	1953	263	30	1-72	50-1	—	—
2011	395	16	5-38	18-6	1954	231	64	1-34	76-5	—	—
2012	367	28	3-07	32-6	1955	453	13	6-61	15-1	—	—
2013	255	55	1-37	64-0	1956	316	38	2-26	44-3	—	—
2014	256	54	1-39	62-8	1957	316	39	2-20	45-4	—	—
2015	585	3	28-6	3-5	1958	117	37	2-32	43-0	—	—
2016	373	24	3-38	27-9	1959	375	22	3-91	25-6	—	—
2017	327	34	2-53	39-6	1960	308	41	2-10	47-7	—	—
2018	331	30	2-86	34-9	1961	456	12	7-16	14-0	—	—
2019	334	33	2-60	38-4	1962	344	31	2-78	36-0	—	—
2020	251	56	1-54	65-1	1963	286	47	1-83	54-6	—	—
2021	240	60	1-43	69-8	1964	389	27	3-18	31-4	—	—
2022	190	70	1-10	90-6	1965	113	85	1-02	97-6	—	—
2023	231	63	1-37	73-2	1966	324	36	2-39	41-9	—	—
2024	290	45	1-91	52-4	1967	313	40	2-15	46-5	—	—

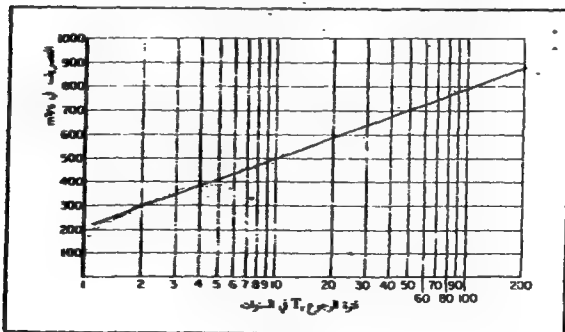
$n = 85$   $Q_{85} = 319.5$  m<sup>3</sup>/s standard deviation  $\sigma = 124.56$   $T_r = (n-1)/m$   $P^* = 100/Y_r$

الشكل (3.9) وقد رسم خط مستقيم يوفق تلك المعلومات. وطلبا للقرار المطلوب في هذه القضية هو إيجاد خط موافق لكل النقاط فضلاً عن الاستنتاج من الأقلية، وهذا يعمل ببساطة من الحالة الأولى. ومع ذلك، ألا إذا كانت فترة الرجوع تتبع قانون لوغارتمي، ولا يشترط بالضرورة استنتاج دقيق.



الشكل (2.9)

الجريان الأقصى اليومي السنوي لنهر (Thames) في (Teddington) 1967-1992

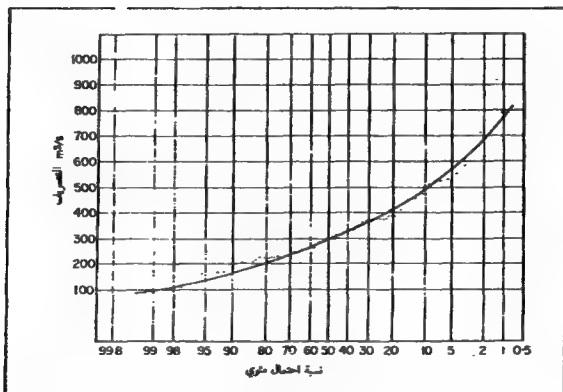


الشكل (3.9)

الجريان الأقصى اليومي السنوي لنهر (Thames) في (Teddington) 1967-1992 (شبه لوجوتي)

(ج) طريقة أخرى هي فرض بأن الحوادث لها توزيع طبيعي وعليه وعلى ورقة احتمال طبيعي (كما في (Hazen) (66) مترسم على طول خط مستقيم. مبن هذا في الشكل (4.9). ومن الواضح أن جميع النقاط لا تقع على خط مستقيم، وعليه فإن منحنى سطحي قد وفق للمعلومات. ويجب أن يلاحظ بأن مقياس  $T_r$  أصبح الآن احتمال  $P$ .  $P$  هو الاحتمال لقيمة المتناظرة لـ  $Q$  التي تساوى أو تترايد في أي سنة واحدة.

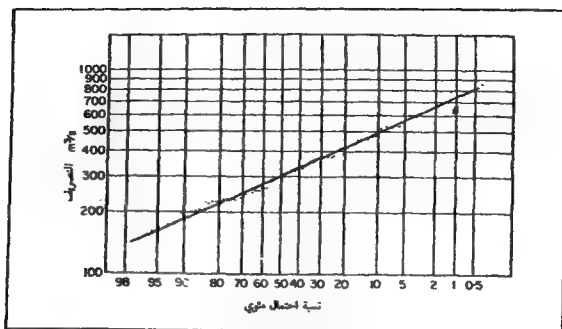
$$P = \frac{1}{T_r}$$



الشكل (4.9)

الجريان الأقصى اليومي السنوي لنهر (Thames) في (Teddington) 1967-1982 (توزيع طبيعي)

(د) إن تغير هذه الطريقة هو اقتراض ان لوغاريتم المتغير  $Q$  له توزيع طبيعي ويؤدي هذا استعمال التوزيع اللوغاريتمي الطبيعي أو ورق لوغاريتم -معدل (استعمل أولاً من قبل (Whipple) (67)). قدمت نفس المعلومات السابقة في هذه الطريقة في الشكل (5.9) ومرة أخرى يمثل الاحداثي السني احتمال  $P$ .



الشكل (5.9)

الجريان الأقصى اليومي السنوي لنهر (Thames) في (Teddington) 1967-1982 (لوفارتم طبيعي)

(هـ) وقد اقترح باحثون آخرون طرق التي افترضت فيها توزيعات تكرارية نظرية أخرى. استعمل (Gumbel) ((71,69,68)) نظرية قيمة - صارمة لتئين متواليات لقيم صارمة  $x_1, x_2, \dots, x_n$  حيث أن النماذج متساوية بالحجم و  $x$  هو متغير ذو توزيع آسي (عل سبيل المثال، أقصى تصريف لوحظ في قراءات مقاييس سنوية)، وسيكون بعد ذلك الاحتمال المتجمع  $P'$  لأي قيم  $n$  أقل من قيمة معينة لـ  $x$  (ذات فترة عودة  $T$ ) تقترب القيمة

$$P' = e^{-e^{-x}}$$

حيث:

$e$  = الأساس للوغاريتم الطبيعي

و

$$z = -\ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right]$$

بمعنى آخر،  $P'$  هي احتمال حدث غير متكرر  $X$  في  $T$  سنوات.

أو

$$T = \frac{1}{1-P}$$

□ ملاحظة: ترجع هذه المناقشة الى طريقة (Gumbel). ويجب على القارئ عدم التشوش مع الاستعمال الطبيعي لـ  $T_r = 1/P$  حيث أن  $P =$  احتمال التكرار.

ويعرف الآن الحدث  $X$  بـ  $Q_T$  وبعد ذلك

$$Q_T = Q_m + \sigma(0.78y - 0.45) \quad (2.9)$$

حيث:

$Q_m$  = معدل لجميع القيم لـ الفيضان السنوي،  
و  $\sigma$  = الانحراف المعياري للمتواليات

$$\sigma = \sqrt{\left[ \frac{n}{n-1} \left( \frac{\sum Q_m^2}{n} - Q_m^2 \right) \right]}$$

حيث:

$n$  = عدد سنوات التسجيل = عدد قيم  $Q_m$

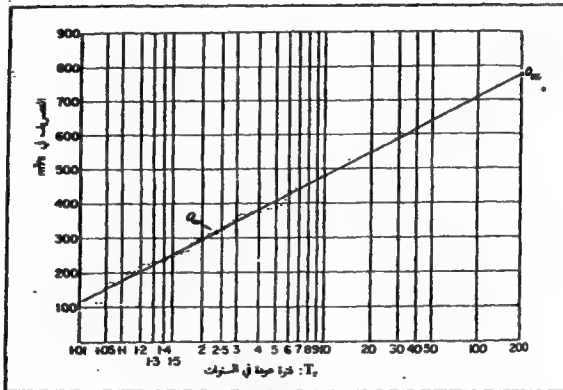
$\sum Q_m^2$  = مجموع مربعات لـ  $n$  من  $Q_m$ .

يعطي الجدول (3.9) قيم  $y$  كدالة لـ  $T$

اقترح (Powell) (70) بأنه إذا أعد ورق رسم بياني والذي فيه الخطوط الأفقية متوزعة بشكل خطي وتوزيع الخطوط العمودية تعمل متناسبة لـ  $Y$ ، وبعد ذلك سيرسم من المعادلة (2.9)،  $Q_T$  و  $T$  كخطوط مستقيمة. وهذا هو الأساس لورق احتمال (Gumbel-Powell)، واستعملت لرسم معلومات نهر التاييس على الشكل (6.9). وحسبت فترة الرجوع  $T$ ، كـ  $T = \frac{n+1}{m}$ .

### جول (3.9)

T	Y	T	Y	T	Y
1.01	-1.53	5.00	1.50	50	3.90
1.58	-0.00	10.00	2.25	100	4.60
2.00	0.37	80.00	2.97	200	5.30



الشكل (6.9)

الجريان الأقصى اليومي السنوي لهر (Thames) في (Tottenham) 1883-1967 (توزيع Gambel)

وقد رسم الخط المستقيم على هذا الشكل بين النقطتين  $Q_{200}$  و  $Q_{av}$ . تحدث  $Q_{av}$  من المعادلة (2.9) عند  $0.45Y = 0.78Y$  أو  $Y = 0.577$ ، والتي تناظر سنة  $T = 2.33$ . تصبح المعادلة (2.9) للقيم العالية لـ  $n$  على سبيل المثال  $n > 50$ ، عندما تضمنت  $Q_{av}$  في 2.33 سنة على الخط خلال التقاط. تمثل النقطة  $Q_{200}$  فيضان الـ 200 سنة ويتم إيجادها بالتمويض في المعادلة (2.9) بالقيم المناسبة

$$Q_{200} = Q_{av} + 124.56(0.78 \times 5.30 - 0.45) = 778 \text{ m}^3/\text{s}$$

استعرض التوافق بين المعلومات المرسومة والخط النظري لـ (Gumbel) ويجب أن لا يستعمل ورق (Gumbel) للمتواليات الجزئية التي ترسم عادة بشكل أفضل على ورق نصف لوغاريتمي، كما استعملت في الشكل (3.9).

من الرسوم التي قلعت في الأشكال (2.9-6.9)، ربما يبدو هناك قليل للاختيار بين ورق الرسم للمعين المتوفر. هذا هو دائماً الحالة ويجب أن يستعمل الباحثون أي توزيع كان يعمل أعمالهم في التوافق والاستنتاج أبسط والمستقيم له أفضل توافق.

الخلاصة المقترضة السابقة ضرورية للرسم البياني لحوادث الفيضان للطرق المختلفة، في الاستعمال الجاري. يجب أن يرجع إلى البحوث الأصلية للنظريات الأساسية والمعاملات الأكثر شمولية متوفرة في (72,73).

#### 4.9 جيل المعلومات المصطنعة: (Synthetic data-generation)

إن أحد المشاكل الدائمة للهائيډرولوجست هي المعلومات غير الكافية، سواء سيكون مطر أو، دائماً، ملاحظات تصريف. إذا كان الهائيډرولوجست يرغب التكهن بجريان فيضان للقيمة الكبيرة نسبياً وبالتالي فترات رجوع كبيرة، ربما سيجد بأنه يمتلك عقداً أو عقدين من الملاحظات اليومية التي تمثل التصاريف. وباستعمال متواليات سنوية ربما تتيج هذه التسجيلات 20 أو 30 نقطة ومن الواضح هناك شكوك لتكهن بحدوث نادرة بمستوى 100 سنة فيضان. وباستعمال قراءة واحدة فقط أو اثنتين من تلك القياسات من كل تسجيل سنة، ستترك كمية هائلة من المعلومات من خواص تصريف الجاية غير ملموسة. ألا تحوي هذه الكمية من روتين الملاحظات دليلاً، ليس عن تجلّوب الجاية للمطر فقط، ولكن عن حدوث المطر نفسه؟ وبدراسة المبادئ الطبيعية للاختلاف في التصريف، وحتى في التصاريف الواطئة، ربما من الممكن استخراجهم، وعملاً بعشوائيتهم ويطرق غير مترابطة، ويتيج إذن بشكل أوتوماتيكي المتواليات التي تظهر الاختلاف الذي تبينه المعلومات الطبيعية.

ويمجيء الحاسبات الالكترونية ذات القدرة الفائقة هيأت أجوبة لتلك الأسئلة وذلك لتحليل واستخراج المعلومات المصطنعة وبكميات كبيرة. وبينما تعتمد زجبة جيل المعلومات المصطنعة على طبيعة المعلومات الأصلية، وتعمل الطريقة على استعمال كل المعلومات المتوفرة فضلاً على الجزء الصغير جداً منها والذي يشكل قيم متطرفة،



تعتمد الطريقة المنتجة صناعياً وقت - متواليات جبرهياً على استعمال التسجيلات التاريخية كنموذج للمجتمع الكلي، بينما تعتبر الطرق التقليدية التسجيلات بأنها المجتمع الكلي. ويعقب ذلك بأن التصميمات ستركز على التخمينات التي ستحدث بدلاً من التي حدثت.

ربما تحوي متواليات أي وقت للقيم الملاحظة على عنصر شائع (Trend Component) وعنصر دوري (Periodic component) وعنصر ستوكاستيكي (Stochastic component). إن العنصرين الأولين هما في الطبيعة، ومعنى آخر، هما ليسا غير معتمدين لوقت عندما تبدأ المتواليات ولا على طول المتواليات، بينما العنصر الستوكاستيكي ثابت، بمعنى آخر، إن إحصاء النموذج لا يختلف عن إحصاء المجتمع (عدا الاختلاف الحاصل نتيجة لتغيرية أخذ النموذج) وهم غير معتمدين - الوقت.

إذا أزيل كل من العنصر الدوري والعنصر الشائع من المتواليات، فيبقى عنصر ستوكاستيكي ثابت. سيحوي هذا العنصر على عنصر عشوائي وربما يحوي أو لا يحوي على عنصر الارتباط. نصف متواليات الارتباط كيفية كل حد في المتواليات متأثر بما حدث سابقاً، على سبيل المثال، صيف كثير المطر ربما يؤدي إلى جريان خريفي أعلى من المعدل. وعلى هذا الأساس، يجب أن يفرز ويحدد العنصر العشوائي ومنشأ الارتباط للعنصر الستوكاستيكي.

لحد الآن جزئت متواليات الزمن وفحصت اجزائها المختلفة. وأعيدت صياغة كل من الأجزاء بواسطة نظاهرة رياضية باستعمال أرقام عشوائية الحدوث، متواليات (Markov) ومعاملات التوافق التسلسلة الخ، بضمنها الاعادة للعناصر الدورية والشائعة. إن النمط الذي عمل من الممكن استعماله لعمل معلومات مصطنعة لأي من الكميات المرغوبة، واستعملت المتواليات المنتجة لتخمين أحداث  $N$  - سنة معين كما لو كانت المعلومات مسجلة.

## 5.9 بيانات المطر ومخطط الماء القياسي:

(Rainfall data and the unit hydrograph)

إن في استعمال مخططات الماء القياسية للتنبؤ الهيدرولوجي فمن الضروري أن نقرر كمية المطر الصافي التي ستعمل، طاملاً من الممكن تعديل غطاء الماء ليناسب طول العاصفة المختارة (القسم 5.7). وهذه ليست عملية بسيطة وهي أحد المواضيع

الوثائق الأخيرة في المراجع الهيدرولوجية. والسبب لهذا هو بشكل رئيس أن تشغيل المطر المستعمل لمخطط قياسي يتخذ لعدة أسباب مختلفة. ربما يتضمن تصميم وإنشاء مشاريع مختلفة تخمين لعدة فيضانات مختلفة. على سبيل المثال، يرغب مصمم السد أن يعمل مسيل السد كبيراً وواسعاً حتى أن لا تهدد أمانة السد خلال فترة عمره. ويرغب مهندس السد أن يعرف عن ماهية المخاطرة التي يتحملها لفيضانات مختلفة حادثة في الـ 3 أو 4 سنوات والتي ربما ترتفع في قناة النهر، وعليه يجب أن يحدد قياس كل من الانضباب والتفق بشكل اقتصادي. أما مهتمس حماية الفيضان فيرغب بأن لا تكون السداد يتفوق عليها الفيضان أكثر عادة من تكرار تصميمي والذي اعتبره المهندس كحد اقتصادي، وربما ليس كل هذا إذا أخذ بنظر الاعتبار حياة البشر. ويرغب مدير ميناء النهر أو مصب لنهر أن يعرف عمق الماء الذي يستطيع الاعتماد عليه في ملاحاة القناة وهكذا. ربما من المرغوب في أحد أو جميع تلك الحالات اختيار مطر تصميمي لتكرار ومقدار معين وتطبيقه على مخطط جاية كمصدر لتنبؤ الجريان. وهذا وارد من الناحية العملية لأن يوجد في عدة مناطق من العالم قياسات لمطر لفترة طويلة معقولة في حين وجود قياسات للمسيح لفترة قصيرة ومتفرقة.

فيجب أن تختبر قياسات المطر وتعمل تحليلات متكررة لحدوث 24 ساعة أعماق مطر معينة. تعمل قياسات المطر أكثر من هذا بصورة مستمرة وقلماء عملت غير ذلك برغم أن العواصف المطرية الشديدة جداً تبقى بشكل متكرر لفترات اقصر. وتعتمد كثيراً على حجم الحماية. فإذا كانت كبيرة جداً، فإن تكرارات 24 ساعة ربما تكون مناسبة لاختيار مطر تصميمي. وفي كثير من الأحيان، مع ذلك، ستمثل فترات المطر القصيرة ذات الشدة العالية خطورة فيضان أكبر ويجب أن تعمل جهوداً لإيجاد معلومات ذات فواصل قصيرة، أو البدء في قياسها بواسطة مقياس حقيقي في أقرب وقت من ابتداء عمليات تحري المشروع. وربما تعمل تعديلات للمعلومات بواسطة تسجيل التكرارات مع اعماق المطر المينة التي تحدث في فترات 96 ساعة، 72 ساعة، 48 ساعة و 24 ساعة. هناك كثير من المعلومات المتوفرة حالياً، من مصادر أميركية (74,75,76,77,78) والتي هي موجهة بشكل طبيعي إلى الجاليات الأميركية، والتي هي ملائمة للاستعمال في مكان آخر بشيء من الحذر. في بريطانيا، يجب أن يرجع إلى تقرير دراسة الفيضان (Flood study Report) (79). تسمح اسهام دائرة الأنواء الجوية لهذا التقرير تخمينات لكميات المطر المتوقعة التي ستعمل لأي منطقة في بريطانيا

مع فترة رجوع معطلة لاستدامات من 15 ثانية إلى 30 يوم. ومن الممكن الحصول على عوامل تخفيض والتي تطبق على نقطة مطر للحصول على مطر حقيقي لنفس فترة الرجوع، لاستدامة مطر من 2 دقيقة إلى 8 يوم وللمساحات من 1 و 10,000 كيلومتر مربع.

وربما يرجع إلى بحث (Bleasdale) (80) وأمطار بريطانيا (81).

تتضمن عملية استعمال غطاء الماء القياسي الخطوات التالية:

(أ) إجراء اختبار لجميع المعلومات الوثيقة الصلة بالموضوع (بعضها تحليلات التكرار)، في الحالة العملية، أي تسجيلات حقيقية للمطر، واختيار لاحق لكل التساقطات التي تساقطت، في أخذ اقرار للاهتمام الشخصي، والتي تحدث في فترة زمنية قصيرة معقولة على الجابية ذات العلاقة.

□ ملاحظة: في حالة أن الجابية كبيرة ومن الممكن ملاحظة أن التساقطات غير منتظمة قد حدثت أو تحدث، فيجب نمذجة الجابية إلى جابيات نانوية ويجب أن تعطى كمية للتساقطات لكل من تلك الجابيات الثانوية.

(ب) يجب أن تطرح جميع الضائعات من كمية التساقطات الكلية، التي اختيرت في النهاية. وسيتضمن هذا الاعتراض والارتشاح (والذي أخذ بنظر الاعتبار المعجز في رطوبة التربة) والتبخر-التح. (انظر الى القسم (4.4) والفصل الثالث).

(ج) تطبق المحصلة الصافية، أو المطر المؤثر على غطاء الماء القياسي المبدل إلى أساس-وقت صحيح، ويحصل المحور الراسي لمخطط الماء الناتج. إذا أخذ بنظر الاعتبار أكثر من غطاء الماء فيجب أن تقرر مسافات المطر المؤقتة، عادة، وليس بضرورة، للحصول على الحد الأقصى من الاحداثيات الرأسية التوافقية.

(د) يجمع الآن الجريان الأساس، والذي نحن بشكل منفصل، ليعطي سيج العاصفة الكلي.

إن اختيار (s.m.d.) والذي ربما تسقط عليه العاصفة المصممة هو ذو مغزى من الناحية العملية. ليس من المعقول دائماً أن يفترض مقدماً جابية مشبعة بئلاء وربما يستعمل منحني سعة الارتشاح الفرضي، معامل  $\phi$  أو منحني التوافق المتحد المحاور مع أخذ ذلك بنظر الاعتبار (على سبيل المثال الشكل (7.4)).

## 6.9 علم الأنواء الجوية - المائية: (Hydro-Metrology)

وجلت زيادة خلال 25 سنة الماضية في استعمال علم الأنواء الجوية، مع الهيدرولوجيا، من قبل المهتمين المهتمين بمصادر الماء وسيطرة الفيضان. إن تنمية هذا الاتجاه هو نتيجة الاتجاه لاستعمال قيم مطرية كبيرة لأجل تطبيقها على خطط الماء القياسي، والتي هي أداة فائقة في تخمين في الفيضانات المهددة المستعملة في تصميم منشآت سيطرة الماء. وبشكل مباشر وآني، ستواجهه المشكلة ما هو كبير «الكبير»؟ إن الاحتياج هو تصريف الحد الأعلى للمتساقطات المحتملة بشكل أكثر دقة من ذلك الممكن بإيجاده بالطرق الاحصائية (مبنى على ما هو نسي على تسجيلات قصيرة) ذلك يرشد إلى التحريات التي تعطي كمية الماء التي تخزن في العاصفة.

إن علم الأنواء الجوية المائية مثل عدة تقنيات هيدرولوجية أخرى، استحدثت بشكل رئيس في الولايات المتحدة وتبدو بشكل معقول، إذن، لمناقشتها بشكل سطحي استعملت هنا. هيأت دائرة المحاصيل الأميركية ثلاثة أصناف من تخمينات الفيضان تحت العناوين التالية:

(أ) تحليلات احصائية لتسجيلات جريان جدول. عملت هؤلاء بشكل رئيس على أساس إقليمي على طول الخطوط المشروحة في القسم (2.9). واستعملت بشكل رئيس في تقييم معدل الريح السنوي على طول فترة، كتنيجة لتنفيذ مشاريع معينة.

(ب) تخمينات فيضان مشروع قياسي (SPF). إن تلك التخمينات للفيضانات تحدث في أكثر الأحيان من اتحاد ظروف مناخية وهيدرولوجية قاسية جداً والتي هي بشكل معقول تخص المنطقة الجغرافية تحت الاعتبار، لكن استثناء الاتحادات النادرة إلى أبعد الحدود. هذا ميذاً لكنه موضوع متعذر إجتابه. إن الفرق بين «نادر إلى أبعد الحدود» و«نادر» والقرارات حول ما هو «معقول» بشكل طبيعي يتبع القرار وقد سبب ماقشة (بلون حل) قبل (82).

(ج) تخمين الفيضان الأقصى المحتمل (MPF).

تختلف تلك التخمينات عن (SPE) والتي فيها تضمنن للحوادث النادرة جداً، أو ما هو يسمى في المراجع البريطانية بـ «الفيضان الفاجع»، والذي هو عادة محصور في تصميم المدرر في السدود الكبيرة.

إن كلاً من تحمينات (SPF) و (MPF) أمثلة للترعة الحديثة المستمرة، يعتمد على علم الأنواء الجوية لتخمين الفيضانات الكبيرة جداً. تأخذ بنظر الاعتبار هذه الطريقة الخاصة بالأنواء الجوية تلك الشروط الفيزيائية للجو في مناخلات معينة والتي تمثل الحد الأقصى في إنتاج المطر. ويحتاج المتغير في هذه الشروط في القيمة والفصل والتوزيع المؤقت والتكرار أن يحدد بنظر الاعتبار.

المساقطات القصوى المحتملة (PMP). يبدأ مهندس علم الأنواء الجوية المائية من المقدمة المنطقية التي إذا كان بالمستطاع تخمين الكميات الكبرى للمطر التي من الممكن أن تسقط على جابية معينة في وقت معين، فعليه يبيء تخمين للفيضان الأقصى المحتمل من تطبيق هذا المطر مع تقليل مناسب للضائعات على مخطط الماء القياسي للجابية. هذا هو أفضل تخمين لـ (MPF) من تحديد لقياسات الجريان، إلى 20 أو 30 مرة من فترات الملاحظة، بواسطة تطبيق التوزيعات الاحصائية.

إن المتطلب الضروري للمساقطات هو تجهيز لهواء رطب. تقاس كمية رطوبة الهواء بدرجة حرارته ونقطة الندى، والتي هما ملاحظات جوية قياسية ودائماً تكون متوفرة في الجابية التي فيها بضع من قياسات الجريان. ومن الممكن إيجاد كمية الماء في الجو في أعلى الجابية من الفرضية لمعدل انخفاض الاديباتيكي المشبع (انظر القسم 3.2) أو بواسطة ملاحظات حقيقية لبالون المناخ. والكمية عادة بين 20 ملمتر و 80 ملمتر بالعمق. يتساقط هذا الماء بواسطة التبريد، والذي هو منجز تقريباً ودائماً بواسطة حركة عمودية، لتحديد كتلة الهواء اديباتيكياً، وعليه تطلق الرطوبة الساقطة حرارة كامنة، والتي تعجل الحركة العمودية. والعملية هي عفزة لنفسها وفي بعض الحالات النادرة تكون هي مسببة الى «انفجار السحب» للعواصف الرعدية القاسية. وكذلك ربما تكون الحركة العمودية من جراء تأثيرات جبالية أو جبهوية كما شرحت في القسم (6.2).

ربما يقاس الجريان الداخل للهواء الرطب في قاعدة عمود عاصفة صاعقة بواسطة ملاحظات لسرع الرياح حول السطح الخارجي للعاصفة. وتنتج تلك الملاحظات معلومات عن كمية الماء التي ربما تدخل إلى عمود العاصفة من ثم تساقط. وربما تستنتج المعلومات من مخططات جوية شاملة إذا كانت مبنية على شبكة محطات ملاحظة كثيفة بشكل مناسب.

من تلك الملاحظات لرطوبة الهواء (من خلال نقطة الندى ودرجة الحرارة) وجريان الهواء الداخلي (من خلال سرعة الرياح والضغط الجوي) ربما يحصل على معامل جريان وطوبى الماصفة، (Storm moisture in flow index) وقد شرحت هذه الطريقة في مساحات مختلفة من العالم (85,84,83,78) ربما تشتق قاعدة لفصول مفصلة أو أشهر يأخذ أقصى التسجيلات الفصلية أو الشهرية لرطوبة الهواء وجريان الهواء ويفرض أنهم يحدثون في وقت واحد. وربما تقارن تلك بالعواصف التاريخية التي حدثت في الجاية أو في مناطق أخرى مشابهة الأنواء الجوية. وعلى هذه الطريقة ربما يبقى نظام من المعلومات حول العواصف التاريخية وتقلون مع القاعدة الافتراضية.

يشق (PMP) ربما من القاعدة الافتراضية بأخذ ذروة غلاف المنحنى الذي ينظمهم. في بعض الوقت يحادل بأن العناصر المستعملة نفسها يجب أن تعرض لتحليل تكراري قبل اختيار لـ (PMP). والجدير بالذكر، يفرض مقدماً هذا بأن العمليات الفيزيائية للعواصف المنتجة للأمطار هي حوادث عشوائية والتي تستطيع أن تحدث في كميات مختلفة بشكل واسع. وربما هذا ليس حقيقياً إلى حد كما هو للمتساقيات المسجلة في مقياس مطر أو فيضان في نهر. وكذلك يأخذ القيم القصوى المعلومة للعوامل الملاحظة ويجمعهم في فضاء حول الجاية، ينسخ صداً فترة الرجوع. والطريقة هي حتمية أكثر من كونها احصائية.

إن هذا الموضوع تحت تطوير مستمر في عدة دول وبدون شك مستخرج أكثر تقنيات دقيقة في الوقت الحاضر.

تطبيق علم للمعلومات: قد تم تحليل عدة عواصف كبيرة، وبشكل خاص في الولايات المتحدة، وقد تم نشر القيم القصوى لعنق المطر لاستدامات ومناطق مختلفة (86,76,75). وعرضت مثل هذه المعلومات على شكل مجموعة من المنحنيات وكل منهم يمثل عنق المطر المرسوم بيانياً على محاور مستطيلة لاستدامة عاصفة بالساعات ومساحة عاصفة بالأميال المربعة. وهؤلاء دليل نافع لتحديد القيم لكن يجب أن يستعمل بحكمة لجائيات معينة، طالما الطوبوغرافية والارتفاع وكذلك المناخ ربما يعدل النتائج الممكن تقديرها لمناطق أخرى.

وعلى ضوء هذا القسم فمن الأهمية تسليط الضوء مرة أخرى على نقطة الأمطار القصوى العالمية والتي ذكرت في القسم (5.6). يقترح (Paulhus) (87) بأنه إذا رسم

المطر في رسم بياني ضد الاستدامة، وكل من المقاييس تكون لوغاريتمية، فتقع نقطة الملاحظة العظمى العالمية للأمطار على أو تحت خط مستقيم معادلته هي:

$$R = 415 D^{0.475}$$

حيث أن R كمية المطر بالملترات و D الاستدامة بالساعات.

واقترح (Bleasdale) علاقة بسيطة

$$R = 388 D^{\frac{1}{4}}$$

والتي هي ذات توافق جيد ومعقول وسهلت الحسابات، وأشر كذلك بأن القاعدة البريطانية تقع أيضاً قرية من الخط المستقيم على نفس المخطط، ولها قيم قرية من ربع القيمة العالمية.

وعلى أية حال، فمن المحتمل بأن العلاقة البسيطة المعروضة تمثل تمثيل لعدة علاقات معقدة ومتداخلة ومن الطبيعي سيكون ليست من الحكمة أن تستعمل قيم الخط المستقيم في مساحات أو على الجابيات التي تبين التسجيلات تساقطت تقع بشكل جيد تحت تلك في مكان حدوث القاعدة.

## 7.9 الطبيعة الدورية للظاهرة الهيدرولوجية:

(The cyclical nature of hydrological phenomena)

فرض في جميع الأقسام السابقة في هذا الكتاب أن العمليات التي شرحت ودرست بنيت على شروط فيزيائية غير متغيرة. على سبيل المثال في تحليل التكرارات فرض أن الحوادث التي تحدث في 50-100 سنة الماضية من الممكن استعمالها للتكهن الاحتمال لحوادث مشابهة تحدث في المستقبل. يعترض على هذا الافتراض في وقت لآخر لكن نادراً ما أثبت العكس.

هذا يسبب على الأقل جزء من الأفكار الخاطئة حول ما يقتضي الدوري ضمناً، عندما يشارك مع الحوادث الهيدرولوجية. إن تضمين الدورية في الفكرة الهيدرولوجية هو أرجحية قيم معينة لحوادث عشوائية تظهر أكبر في اوقات معينة من

بمها. في كلمات أخرى، يوجد تغير دوري في الاحتمالات، أكثر من حوادث. هذا لا يعلن أنه لا مجال للبحث في احتمال الحوادث القصوى (على سبيل المثال) لحادثة في أوقات عندما تكون احتمالاتها أقل.

شرح (Brooks) و (Curruthers) (89) الدورية لمطر سنوي في انكلترا والذي يبدو له فترة 51.7 سنة. استمروا ليان أن الاحتمال لسنة ممطرة كانت تقريباً ضعف ذلك لسنة جافة قرب الدورة العظمى لـ 51.7 سنة بينا قرب الحد الأدنى كانت أقل من النصف. وكان هذا صحيحاً برغم أن كلاً من السنوات الجافة والممطرة حادثة في أوقات متشابهة لاحتمال الحد الأدنى.

ويبدو غير جدي تطبيق طرق احصائية لاشتقاق احتمال حدوث حوادث معينة دون الأخذ بنظر الاعتبار بأن عمليات معينة هي عوامل مسببة جزئياً لتلك الحوادث، والتي ربما توضح للاحتمالات الدورية نفسها، ولتعديل اشتقاق الاحتمال للدرجة معينة. بالرغم من ذلك فإن الفرضية لاستعمال مثل تلك المعلومات ربما يكون نادراً. وهذا الخصوص يجب أن يبحث عن أي تحليل احتمال قصير - الفترة حيث أن فضاء الوقت متشابه للمعلومات المشتقة.

بين (Cohrane) (96)، في تحليل هيدرولوجية بحيرة وجامية (Nyasa) توافق بين معدل تغير كلفة الشمس (Sunspots) وكمية الماء الحر في بحيرة (Nyasa) (يعني الاصطلاح «الماء الحر»... إلى الجريان السطحي المتخلف من الجابية والمخزون في البحيرة، بعد أن طرحت جميع الضائعات من المطر). يعطي (Cochrane) في بحث آخر (91) عدة مراجع لتأكيد خواص الحالة الدورية في الظاهرة الهيدرولوجية، التي تخص أعمالاً في عدة مناطق من العالم. إن اختياراً هادئاً للبراهين يؤدي بال مؤلف الحالي إلى الاستنتاج بأن الدورية في الظاهرة الهيدرولوجية موجودة وبرغم ذلك فهمناها بشكل ناقص لحد الآن.



## تمارين عامة

إن بعض التمارين التالية ظهرت في امتحانات جامعة (Salford) (الهندسة المدنية) ونشرت بعد أخذ موافقة الجامعة.

### تمارين الفصل الثاني:

1.2 درجة حرارة كتلة هواء  $28^{\circ}\text{C}$  ورطوبتها النسبية 70%. أوجد:

(أ) ضغط البخار المشبع؛

(ب) عجز التشبع؛

(ج) ضغط البخار الحقيقي في mm Hg و m bar؛

(د) نقطة الندى؛

(هـ) درجة حرارة البصلة المبتلة.

2.2 ناقش العلاقات بين العمق، الاستدامة ومساحة المطر لعواصف معينة.

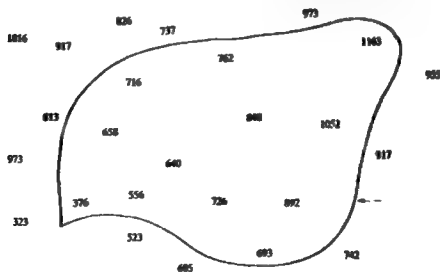
3.2 الأرقام التالية هي المطر السنوي لأربع عطلات في (Derbyshire). ولم تستحدث قيم المعدل لـ (Cubley) و (Giggin School).

	المعدل (mm)	1989	1994
Wirksworth	901.7	680.7	1234.4
Cubley		495.3	1077.0
Rodsley	795.0	548.6	1069.3
Biggin School		840.7	1376.7

- (أ) افترض ان الانحراف من الطبيعي متساو لجميع المحطات. إن تنبؤ (Rodsley) «المعدل السنوي» من ذلك في (Wirksworth) وستان في التسجيل. قارن النتائج مع القيم المستخلصة.
- (ب) تنبأ بالمعدل السنوي لـ (Cubley) و (Biggin School) باستعمال كل من معلومات (Wirksworth) و (Rodsley).
- (ج) علق على الفرضية في (a). هل هي معقولة.

4.2 إن إحدى اربع القراءات الشهرية لكمية المطر على جاية معينة حصل فيها خطأ في شهر معين بينما كانت القراءات الثلاث الأخرى هي 37، 43 و 51mm على التوالي. إذا كان المعدل السنوي للمتساقطات لتلك المحطات الثلاث هي 726، 752 و 840mm على التوالي المحطة العاطلة 694mm، فمخ القراءة الشهرية الناقصة للمحطة الأخيرة.

5.2 أحسب المعدل السنوي لكميات الأمطار، في mm عمق، على مساحة الجاية المبينة في الشكل ادناه بواسطة



( i ) بالمعدل الحسابي

( i ) طريقة Theissen

( iii ) برسم خطوط التماطر.

علق على تطبيق كل طريقة.

6.2 ناقش عملية نصب مقاييس المطر على الأرض وعلق على تأثير الرياح وسقوط المطر غير العمودي على السقطة.

7.2 التساقطات السنوية في مقياس مطر X والمعدل السنوي للمتساقطات في 20 مقياس مطر حول المنطقة مينة في الجدول أدناه.

( أ ) اختبر تناسق معلومات المحطة X.

( ب ) متى حدث تغير في النظام.

( ج ) عدل المعلومات وأوجد مقدار الفرق الذي يؤديه التعديل إلى المعدل السنوي للمتساقطات في المحطة X خلال 36 سنة.

التساقطات السنوية mm			التساقطات السنوية mm		
السنة	معدل 20 محطة المحطة X		السنة	معدل 20 محطة المحطة X	
1972	188	264	1954	223	360
1971	185	228	1953	173	234
1970	310	386	1952	282	333
1969	295	297	1951	218	236
1968	208	284	1950	246	251
1967	287	350	1949	284	284
1966	183	236	1948	493	361
1965	304	371	1947	320	282
1964	228	234	1946	274	252
1963	216	290	1945	322	274
1962	224	282	1944	437	302
1961	203	246	1943	389	350
1960	284	264	1942	305	228
1959	295	332	1941	320	312
1958	206	231	1940	328	284
1957	269	234	1939	308	315
1956	241	231	1938	302	280
1955	284	312	1937	414	343

8.2 يجب أن ترسم المعلومات لمعدل الـ 20 محطة للسؤال (7.2) على خط بياني كمتسلسل زمني. وبعد ذلك ارسم معدلات متحركة لـ 5 سنوات وانحرافات سنوية متجمعة من معدل 36 سنة. هل هنا اثبات للدورية أو اتجاه معين؟

9.2 في موقع معين، توجد تسجيلات لسرعة الرياح لفترات طويلة للقياسات على ارتفاع 10 و 15m فوق سطح الأرض. لحسابات معينة للتبخّر، هناك حاجة للسرعة على ارتفاع 2m، فعليه هناك حاجة لتمديد التسجيلات ذات المدى الطويل إلى مستوى 2m. لمجموعة واحدة من المعلومات، السرعة على 10 و 15m كانت 9.14 و 9.66m/s على التوالي.

(أ) ما هي قيمة الأس التي تربط سرعتين والارتفاعات؟

(ب) ما هي السرعة التي تستجها عن ارتفاع 2m؟

10.2 يسجل مقياس مطر تساقط مقداره 9mm في 10 دقائق.

(أ) ما هو التكرار الذي تتوقعه لمثل هذا التساقط على منطقة معينة في بريطانيا.

(ب) ما هو حجم المطر الكلي المتوقع أن يسقط على مساحة 3 كيلومتر مربع حول المقياس.

11.2 ما هو أقصى مطر – يوم واحد متوقع في بريطانيا للفترة 50 سنة في موقع X (المعدل السنوي للمطر 1000mm) وللفترة 30 سنة في موقع Y (المعدل السنوي للمطر 1750mm)؟

12.2 ما هو معدل المطر على مساحة 8 كيلومتر مربع خلال عاصفة تستغرق 30 دقيقة وتكرر مرة واحدة في 20 سنة في:

(أ) Oxford

(ب) Kumasi.

هل يحتاج الجواب لـ (ب) توضيح؟

### تقارين الفصل الثالث:

1.3 أوجد التبخر من سطح ماء حر باستعمال مخططات معادلة (Penman) للحالات التالية:

الموقع	الشهر	درجة الحرارة	h	m/D	$U_2$
Amsterdam (52°N)	تموز	18°C	0.5	0.5	1.2m/s
Seattle (47°N)	كانون الثاني	4°C	0.8	0.3	12.5m/s

2.3 استعمل مخططات معادلة (Penman) لتكهن بالتبخر - التبع الكامن اليومي لحقل زراعي على خط عرض 40°N في شهر نيسان، تحت الظروف التالية:

$$\begin{aligned} \text{معدل درجة حرارة الهواء} &= 20^\circ\text{C} & \text{معدل } h &= 70\% \\ \text{غطاء السماء} &= 60\% & \text{معدل } U_2 &= 2.5\text{m/s} \\ \text{غائم} & & & \\ \text{نسبة التبخر - التبع الكامن إلى التبخر الكامن} &= 0.7 \end{aligned}$$

3.3 أحسب التبخر - التبع الكامن باستعمال معادلة (Thornthwaite) للموقعين A و B حيث أن الظروف المناخية بالشكل التالي:

% ساعات النهار			% ساعات النهار			
A	B	إلى السنة في	A	B	إلى السنة في	
11	16	19	6	-2	-5	كانون الثاني
10	14	17	7	2	0	شباط
8 $\frac{1}{2}$	10	13	7 $\frac{1}{2}$	3	5	آذار
7 $\frac{1}{2}$	8	9	8 $\frac{1}{2}$	7	9	نيسان
7	3	5	10	10	13	أيار
6	0	0	11	15	17	حزيران

(أ) في A لشهر نيسان (معدل درجة الحرارة =  $10^{\circ}\text{C}$ ) وفي شهر تشرين الثاني (معدل درجة الحرارة =  $3^{\circ}\text{C}$ ).

(ب) في B لشهر حزيران (معدل درجة الحرارة =  $20^{\circ}\text{C}$ ) وفي تشرين الأول (معدل درجة الحرارة =  $8^{\circ}\text{C}$ ).

في A معدل عدد الساعات بين شروق الشمس وغروبها هو 13 لشهر نيسان و 9 لشهر تشرين الثاني. في B الأرقام هي 14 لشهر حزيران و 10 لشهر تشرين الأول. استعمل تبسيطات (Serra) لـ A والمخططات لـ B.

4.3 إن أقصى كثافة للماء في درجة حرارة  $4^{\circ}\text{C}$ ، وتكون الكثافة أقل في أعلى أو أوطأ من هذه الدرجة. افترض بحيرة عميقة في مكان حيث تهبط درجة الحرارة تحت  $4^{\circ}\text{C}$  في الشتاء.

(أ) أشرح ما سيحدث للبحيرة في الربيع والخريف؟

(ب) ما هو تأثير ما يحدث على

(i) الفترة الفاصلة بين درجة حرارة الهواء والماء؟

(ii) معدل التبخر في فصول السنة المختلفة؟

(ج) هل سيوجد فرق إذا لم تهبط درجة الحرارة في الشتاء تحت  $4^{\circ}\text{C}$  وإذا كان الانحباب فلماذا؟

5.3 أحسب لموقع A (سؤال 3.3) الاستهلاك المائي لمحصول الطماطة خلال فصل الأنبت من حزيران وإلى تشرين الأول إذا كان معامل الاستهلاك المائي المناسب 10% أقل من ذلك لكالفورنيا.

6.3 أشرح عحاسن ومساويء حوض التبخر النصبوب على سطح الأرض (على سبيل المثال نوع A) مقارنة بذلك المغمور في الأرض.

7.3 صغ ميزانية - الماء لـ 100 وحدة مطر تسقط إلى غابة صنوبرية في مناخ بحري معتدل. اشرح العمليات المتضمنة وأشر إلى نسب المطر التي تصبغ في ضمن كل منها.

8.3 أشرح بالشكل الكامل نظرية (Penman) للتبخر لسطح ماء مفتوح. وبين كيف كل من العوامل المستعملة تؤثر على التبخر؟ وأشرح كيف تختلف النظرية عن بقية صيغ التبخر؟

9.3 يقع خزان كبير على خط عرض  $40^{\circ}30'N$ . أحسب التبخر السطحي الشهري والسنوي للخزان من المعلومات المعطاة باستعمال مخططات نظرية (Penman). إذا كان مقدار التبخر من حوض التبخر نوع A في الخزان للسنة هو 1143 mm أحسب معامل حوض التبخر. افرض أن التساقطات على البحيرة كما هو معطى ويمثل السيج مقدار الفائض المحتوم من هذه التساقطات خلال الفيضانات، ما هو الفقدان الصافي السنوي المتوقع من الخزان لمساحة كيلومتر مربع من السطح في متر مكعب لليوم؟

ما سيكون التغير في التبخر لشهر تموز إذا كان الخزان في  $40^{\circ}$ ؟

البحر	التساقطات mm	السحب للقطرة	معدل سرعة الرياح m/s	قوة التدرج °C	معدل درجة حرارة الهواء °C	
—	51	5-9	0-8	7-8	14-4	تشرين الأول
23	99	7-2	1-3	1-7	8-3	تشرين الثاني
43	102	9-5	1-7	2-2	3-9	كانون الأول
58	117	8-7	2-1	1-9	2-2	كانون الثاني
20	91	6-3	2-2	1-4	2-2	شباط
12	69	5-1	1-3	1-1	4-4	آذار
—	51	3-4	1-1	3-3	8-9	نيسان
—	28	2-6	0-9	10	15	أيار
—	3	0-2	0-8	15-6	20	حزيران
—	0	0-1	0-75	16-7	23-9	تموز
—	0	0-0	0-7	17-8	22-8	أب
8	20	1-5	0-75	12-8	17-8	أيلول

## تمارين الفصل الرابع :

1.4 ناقش تأثير انحدار الجاية وشدة المطر على معدلات الرشع تحت مطر ثابت.

2.4 أشرح تأثير الغابات والزراعة على الماء الأرضي . قدم دلالة لصالح وضد

( أ ) تربية للماشية

(ب) زراعة المحاصيل

(ج) عمل الغابات

على جاية فيها خزان ماء مستعمل

3.4 يعطي الجدول أدناه كمية المطر في الساعة لثلاث عواصف والتي أعطت ارتفاع للسحب معادل إلى 14، 23 و 18.5mm على التوالي . أوجد معامل  $\phi$  للجاية .

الساعة	1 العاصفة mm	2 العاصفة mm	3 العاصفة mm
1	2	4	3
2	6	9	8
3	7	15	11
4	10	12	4
5	5	5	12
6	4		3
7	4		
8	2		

4.4 لماذا طريقة طرح معدلات الرشع من شد المطر لإيجاد مخطط ماء للسحب غير مطابق على أحواض أنهر طبيعية كبيرة؟

5.4 معامل التساقطات السابق لمحطة كان 53mm في يوم 1 تشرين الأول و 55mm مطر في 5 تشرين الأول و 30mm في 7 تشرين الأول و 25mm في 8 تشرين الأول .

أحسب API :

( أ ) ليوم 12 تشرين الأول، إذا كان  $k=0.85$  .

(ب) لنفس التاريخ مع فرض عدم وجود تساقط مطر .



6.4 استعمل العلاقة المتحلة المحاور في الشكل (7.4) لإيجاد كيف يتغير السبح في هذا النهر فصلياً؟ أفرض بأن خلال الأسبوع رقم (1) تحدث عاصفة لـ 125mm وتستغرق 72 ساعة. قارن ما يحدث مع تأثير نفس العاصفة في الأسبوع رقم 25، إذا كان API لكل حالة هو 37.5mm. اقترح أي فصل من السنة الأسابيع هي في وبين؟ لماذا يجب أن يكون هناك اختلاف في السبح؟

### تمارين الفصل السادس:

1.6 يعطي قياس نهر  $Q=4010\text{m}^3/\text{s}$ . أخذ القياس 3 ساعات وخلالها هبط المقياس 0.15 m. وكان انحدار سطح النهر في موقع القياس في الوقت 8mm في 500m، ويقرب المقطع العرضي للنهر لمستطيل ضحل 200m عرض في 11m عمق. ما قيمة التصريف المعدل التي ستستعمل؟ وما هي قيمة n في صيغة (Manning) التي تحصل؟

2.6 عملت ملاحظات التصاريح التالية على نهر. استعمل طريقة (Boyer) لتعديل الأرقام لتغير الانحدارات لانتاج حالة ثابتة من التصريف لمحنى التقدير للنهر.

ارتفاع المقياس (m)	التصريف المقياس $\text{m}^3/\text{s} \times 1000$	الارتفاع + أو الهبوط - m/hr
3.17	1.42	—
3.72	1.84	—
4.24	2.18	—
4.36	2.27	—
6.80	4.25	—
8.32	5.10	- 0.098
8.56	6.46	+ 0.244
9.39	7.25	+ 0.160
9.94	6.37	- 0.110
10.73	7.11	- 0.108
11.86	9.57	+ 0.105
12.28	8.95	- 0.067
12.44	9.97	+ 0.55
12.65	9.43	- 0.072
12.86	10.25	—

3.6 أشرح كيف تعدل ملاحظات تصرف لنهر في ارتفاعات مقياس معين، بحيث تقع على منحنى أمليس، ولماذا هذا الشيء المرغوب؟

قيس تصرف نهر في  $Q \approx 2640 \text{ m}^3/\text{s}$ . وخلال 100 دقيقة لقياس ارتفاع المقياس ارتفع من 50.40 إلى 50.52m. اختلفت قراءات المستوى في اعل وأسفل النهر بمقدار 100mm في 700m. وكانت سرعة موجة الفيضان  $2.2 \text{ m/s}$ . اعطي القيم المعدلة لمنحنى التقدير.

4.6 يبدأ مجرى نهر غير منتظم الحجمم التالية خلال فترة 80 يوم في موقع خزان محتمل.

(أ) أرسم المعلومات على شكل مخطط كتلة.

(ب) أحسب معدلات الجريان كمعدل، القصوى والدنيا.

(ج) ما هو حجم الخزان الذي ستحتاج لاستيعاب معدل جريان لـ 80 يوم إذا كان الخزان مملوء في البداية.

(د) ما مقدار الماء الذي سينحصر على شكل فائض في هذه الحالة؟

الدم	حجم الفيض $\text{m}^3 \times 10^6$	الدم	حجم الفيض $\text{m}^3 \times 10^6$	الدم	حجم الفيض $\text{m}^3 \times 10^6$
0	0	32	0.8	64	2.0
2	2.0	34	0.7	66	2.3
4	3.2	36	0.7	68	3.2
6	2.3	38	0.5	70	3.4
8	2.1	40	0.4	72	3.5
10	1.8	42	0.7	74	3.7
12	2.2	44	0.8	76	2.8
14	0.9	46	0.4	78	2.4
16	0.5	48	0.3	80	2.0
18	0.3	50	0.2		
20	0.7	52	0.2		
22	0.7	54	0.4		
24	0.6	56	0.6		
26	1.2	58	1.2		
28	0.7	60	1.4		
30	0.8	62	1.8		

5.6 إن معدل للاستهلاك المنزلي من الماء للفرد في محيط متوسط هو  $0.20\text{m}^3/\text{day}$ . والاحتياج الصناعي هو 30% من الاحتياج المنزلي الكلي. عدد نفوس مدينة الآن هو 100,000 ومتوقع أن يتضاعف العدد في المستقبل. يزود الماء من نهر وحجم الخزان الحالي هو  $10^7\text{m}^3$  ومعدل التصريف اليومي لكل شهر من أشهر السنة هي كالتالي (بالآلاف  $\text{m}^3$ ).

كانون الثاني	290	تموز	64.5
شباط	250	آب	117
آذار	388	ايلول	288
نيسان	150	تشرين اول	388
ايار	64.5	تشرين ثاني	317
حزيران	50	كانون اول	385

يجب أن يبعث تعويض من الماء مقداره  $1.5\text{m}^3/\text{s}$  بشكل ثابت. أوجد، كتقريب أولي ولمعدل سنة، الخزن الإضافي الواجب تهيئته إذا تضاعف عدد السكان إلى الضعف. وأوجد كذلك كمية الماء التي تضيق في تلك السنة وقارنها مع الضائعات الآن. افرض أن الخزان الآن هو نصف ممتلئ في 1 كانون الثاني.

6.6 يزداد مجتمع عدد نفوسه 60,000 نسخة بمعدل 10% في السنة. معدل الاستهلاك للنسمة الواحدة (لجميع الأغراض) هو حالياً  $0.20\text{m}^3/\text{day}$  ويرتفع بمعدل 5% لكل سنة. سيستعمل نهر كمصدر إضافي إلى مصدر تجهيز الماء. ومعدل التصريف اليومي لهذا النهر لأشهر السنة ميين في الجدول أدناه وبآلاف الأمتار المكعبة.

اسمح الى تعويض ماء مقداره  $3\text{m}^3/\text{s}$  من تشرين الأول – آذار داخل و  $5\text{m}^3/\text{s}$  من نيسان – ايلول داخل، أوجد كأول تقريب كمية الخزن المطلوبة على النهر لتجهيز المجتمع بالماء لـ 20 سنة من الآن، افرض أن الاتجاهات في الوقت الحاضر مستمرة، وسيكون الخزان ممتلئ في نهاية شهر تشرين الثاني.

نيسان	220	تموز	670	تشرين اول	670	كانون الثاني	300
ايار	250	آب	865	تشرين الثاني	530	شباط	780
حزيران	370	ايلول	1630	كانون الأول	270	آذار	280

7.6 أذكر ثمانية خواص لأحواض بزل تؤثر في مخططات تصريفهم.

## تارين الفصل السابع :

1.7 تخضع مساحة جانبية للجفاف لفترة طويلة. إن تصريف جدول ييزلها هو  $100\text{m}^3/\text{s}$  بعد 10 أيام بدون مطر، و  $50\text{m}^3/\text{s}$  بعد 40 يوم بدون مطر. اشتق معادلة منحني الانصبوب وخن التصريف بعد 120 يوماً بدون مطر.

2.7 أشرح كيف تشتق منحني الانصبوب الرئيس لنهر. وما هو استعماله ولماذا؟

3.7 إن جزء الانحسار لمخطط ماء، المين أدناه، سيقسم الى سبع وجريان أساسي. اعمل هذا الفصل:

( أ ) بإيجاد النقطة غير المستمرة على جزء الانحسار.

(ب) بإيجاد معادلة منحني الانصبوب وملدها إلى الخلف بالنسبة إلى الزمن. ناقش نتائجك.

الزمن (ساعة)	الجران $\text{m}^3/\text{s}$	الزمن ساعة	الجران $\text{m}^3/\text{s}$
15	41.1	33	10.4
18	34.8	36	8.3
21	25.0	39	7.0
24	19.2	42	5.8
27	15.1	45	4.9
30	12.2	48	4.1

5.7 يلاحظ مخطط الماء (الجدول أدناه) لنهر ييزل جانبية مساحتها 102.4 كيلومتر مربع، للعواصف استغرقت 3 ساعات.

الساعة	$\text{m}^3/\text{s}$	الساعة	$\text{m}^3/\text{s}$	الساعة	$\text{m}^3/\text{s}$
0	12.7	24	99.1	48	30.3
3	155.7	27	85.0	51	26.9
6	254.9	30	73.6	54	23.8
9	212.4	33	62.6	57	21.2
12	184.1	36	53.5	60	18.7
15	158.6	39	45.9	63	16.7
18	135.9	42	39.6	66	15.3
21	116.1	45	34.5		

أفضل جريان الأساسي من السيج وأحسب حجم الجريان الكلي. ما كمية المطر الصافي مقدراً بـ mm/hr؟ ناقش قسوة وتكرار مثل هذه العاصفة في بريطانيا.

5.7 أكتب ثلاثة مبادئ رئيسية لنظرية مخطط ماء قياسي موضحاً تطبيقاتهم بالرسومات. المعطاة أدناه ثلاث مخططات قياسية مشتقة من عواصف مفصلة عن جاية صغيرة، ويعتقد بأنها جميعاً ناتجة من 3 ساعات مطر. اشتق معدل مخطط ماء قياسي وثبت صلاحيته إذا كانت مساحة البزل هي 13.44 كيلومتر مربع.

الساعة	عاصفة (1)	عاصفة (2)	عاصفة (3)
0	0	0	0
1	4.7	1.0	0.7
2	15.5	5.3	2.5
3	21.2	15.2	7.4
4	16.6	19.7	14.3
5	13.2	17.2	18.7
6	10.0	12.9	17.0
7	7.4	9.3	12.1
8	5.5	7.2	9.1
8	4.0	5.5	7.0
9	2.7	3.8	5.2
10	1.7	2.5	3.8
12	0.9	1.5	2.5
13	0.4	0.8	1.5
14	0.2	0.3	0.7
15	0	0	0

جميع القيم في  $m^3/s$

7.6 إن المخطط القياسي لـ 4 ساعات ولمساحة 550 كيلومتر مربع تين فيما يلي:  
عاصفة ذات شدة منتظمة لاستدامة 4 ساعات وشدة 6mm/hr تتبعها بعد  
استراحة لمدة ساعتين عاصفة أخرى ذات شدة منتظمة لاستدامة 2 ساعة وشدة  
11mm/hr. نحن مقدار المطر الضائع به 11mm/hr على كل من العاصفين. ونحن  
الجريان الأساسي به 10m<sup>3</sup>/s في بداية العاصفة الأولى و40m<sup>3</sup>/s في نهاية فترة  
السيح للعاصفة الثانية. أحسب التصريف الذروي المتوقع وزمن الحدوث.

الساعات	Q m <sup>3</sup> /s	الساعات	Q m <sup>3</sup> /s
0	0	12	62
1	11	13	51
2	71	14	40
3	124	15	31
4	170	16	27
5	198	17	17
6	172	18	11
7	147	19	5
8	127	20	3
9	107	21	0
10	90		
11	76		

7.7 مخطط الماء القياسي لـ 4 ساعات لمحطة قياس نهر يزل جاية مساحتها 554  
كيلومتر مربع تين فيما يلي. اعمل أي اختبارات محتملة على صلاحية المخطط  
القياسي. أوجد التصريف الذروي المحتمل في النهر، في المحطة من عاصفة  
تغطي الجاية وتحتوي على فترة من 3 ساعات متعاقبة ولشدة المطر الصافي 12  
و 6mm/hr على التوالي. افرض بأن الجريان الأساسي يرتفع بشكل خطي خلال  
فترة السيح من 30 وإلى 70m<sup>3</sup>/s.

الوقت ساعة	خط الماء القيسي $m^3/s$	الوقت ساعة	خط الماء القيسي $m^3/s$
0	0	12	62
1	11	13	51
2	60	14	39
3	120	15	31
4	170	16	23
5	198	17	16
6	184	18	11
7	153	19	6
8	127	20	3
9	107	21	0
10	91		
11	76		

8.7 أنهي الجفاف على مساحة جابية مساحتها  $100km^2$  بمطر منتظم مقداره  $36mm$  سقط في 6 ساعات. وإن غطط الماء ذات العلاقة للنهر الذي يزل المساحة ميين أدناه، وتكون فترات المطر ميين 3 و 9 ساعات. استعمل هذه المعلومات للتكهين بالتصريف القصوى الذي ربما يحدث بعد مطر على الجابية مقداره  $50mm$  ولفترة 3 ساعات. أثبت بأن الأرصاد على نحو ملائم.

التصريف $m^3/s$	الساعات	التصريف $m^3/s$	الساعات
0	3	24	25
3	3	27	21
6	10	30	17
9	25	33	13-5
12	39	36	10-5
15	43	39	8
18	37	42	5-5
21	30-5	45	4
		48	3-9

9.7 استعمل معلومات وجابية السؤال 7.7 أوجد التصريف الذروي المحتمل في النهر، في المحطة، من عاصفة تغطي الجابية وتحوي على ثلاث فترات 2 ساء متعاقبة من المطر الناتج 7، 14 و  $12mm$  سيح على التوالي. افرض بأن الجربا. الأساسي يرتفع من  $10m^3/s$  إلى  $20m^3/s$  خلال الفترة الكلية للسبح.

## تمازين الفصل الثامن:

1.8 من الممكن تقسيم جابية إلى عشر مساحات بواسطة خطوط متساوية الزمن بالشكل المبين في الجدول أدناه، وإن تباطؤ الجابية هو 10 ساعات.

ساعة	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
المساحة كيلومتر مربع	14	30	84	107	121	95	70	55	35	20

وإن تسجيلات فيضان واحد متوفرة ومنها وجد بأن معامل الحزن  $K$  هو 8 ساعات. أشتق 2- ساعة مخطط ماء قياسي للجابية.

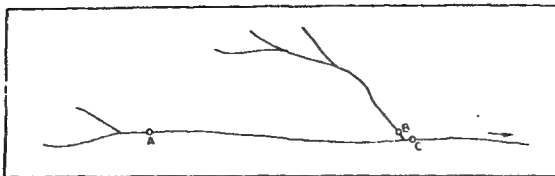
2.8 القيم المجدولة أدناه هي الجريان الداخل  $I$ ، إلى مقترب نهر حيث أن ثوابت الحزن هي  $K=10$  و  $x=0$ . أوجد وبطريقة المخططات ذروة الجريان الخارج بالزمن والمقدار.

ما سيكون التأثير بعمل  $x>0$ ؟

الجريان الداخل $m^3/s$	الزمن ساعة	الجريان الداخل $I$ $m^3/s$	الزمن ساعة
90.6	40	28.3	0
70.8	45	26.9	5
53.8	50	24.1	10
42.5	55	62.3	15
34.0	60	133.1	20
28.3	65	172.7	25
24.1	70	152.9	30
		121.8	35

3.8 تتيج عاصفة على الجابية المينة في الشكل 2 مخطط الماء في  $B, A$  نفس الوقت المبين، أدناه. استعمل طريقة (Muskingum) لسير جريان الجدول لاجماد التصريف القصوى المشترك في  $C$ . أن وقت السفر لمركز كتلة الفيضان بين  $A$  و  $C$  هو 9 ساعات والعامل  $x=0.33$  يحمل أي جريان داخل عملي.





الشكل (2)

ساعات	$Q \text{ m}^3/\text{s}$	ساعات	$Q \text{ m}^3/\text{s}$
0	10	24	91
3	35	27	69
6	96	30	54
9	163	33	41
12	204	36	33
15	210	39	27
18	190	42	24
21	129		

4.8 عرف مخطط الماء القياسي الآن لمساحة جابية، وأشرح كيف يستعمل في اشتقاق  $n$  ... ساعة مخطط ماء.

مساحة جابية الكلية هي  $400 \text{ km}^2$  وقسمت إلى مساحات بواسطة خطوط متساوية الزمن المجدولة ادناه. من مخطط لعاصفة قصيرة وعلم أن  $T_L = 9h$  ومعامل الخزن  $K = 5.5h$ . اشتق مخطط 3 ... ساعة.

المساحات	المساحة المحيطة بخطوط الزمن
$h$	$\text{Km}^2$
1	15
2	30
3	50
4	75
5	80
6	60
7	45
8	25
9	20

5.8 القائمة أدناه هي مخطط مامالجريان داخل للعاصفة لخزان ممتلئ له مسيل غير مسيطر عليه لطلق ماء الفيضان. أوجد مخطط ماء للجريان الخارج لفترة 48 ساعة بعد ابتداء العاصفة. افرض أن الجريان الخارج  $1\text{m}^3/\text{s}$  في الزمن 0. مخطط الماء للجريان الداخل، وخواص الخزن والجريان الخارج للخزان والمسيل مينة أدناه.

### مخطط الماء للجريان الداخل

وقت	وقت	وقت	وقت
3- ساعة	$\text{m}^3/\text{s}$	3- ساعة	$\text{m}^3/\text{s}$
0	1.5	12	54
1	156	13	45
2	255	14	40
3	212	15	34
4	184	16	28
5	158	17	23
6	136	18	17
7	116	19	11
8	99	20	8.5
9	85	21	5.5
10	74	22	3.0
11	62		

### خواص الخزن

الارتفاع من أصل	الارتفاع من أصل	الارتفاع من أصل	الارتفاع من أصل	الارتفاع من أصل	الارتفاع من أصل
قبة السيل	قبة السيل	قبة السيل	قبة السيل	قبة السيل	قبة السيل
m	$\text{m}^3 \times 10^6$	$\text{m}^3/\text{s}$	m	$\text{m}^3 \times 10^6$	$\text{m}^3/\text{s}$
0.2	0.30	1.21	3.0	6.80	70.15
0.4	0.62	3.42	3.2	7.38	77.28
0.6	0.96	6.27	3.4	7.98	84.64
0.8	1.35	9.66	3.6	8.60	92.21
1.0	1.70	13.50	3.8	9.25	100.00
1.2	2.10	17.75	4.0	9.90	108.00
1.4	2.57	22.36	4.2	10.50	116.20
1.6	3.00	27.32	4.4	11.21	124.60
1.8	3.52	32.60	4.6	11.90	133.19
2.0	4.05	38.18	4.8	12.62	141.97
2.2	4.57	44.05	5.0	13.35	150.93
2.4	5.10	50.19	5.2	14.10	160.08
2.6	5.68	56.60	5.4	14.88	169.40
2.8	6.22	63.25			

## تمارين الفصل التاسع :

1.9 يخطط مقاول لبناء سلة ترابية في نهر معرضة الى فيضان سنوي. تؤثر التسجيلات الهيدرولوجية فيضان قصوي مقداره  $7800\text{m}^3/\text{s}$  وأدنى  $200\text{m}^3/\text{s}$ . إن المخطط الملاحظ السنوي للقاعدة هو خط مستقيم على ورق نصف-لوغاريتمي حيث أن فترة الرجوع رسمت لوغاريتمياً.

مستكون السلة الترابية في النهر خلال أربع مواسم فيضان متعاقبة وقد قرر أن تبني بشكل عالي كافية للدرع فيضان 20-سنة.

قيم (بلون رسم) فيضان الـ 20 سنة وأوجد احتمال حدوثه خلال عمر السلة الترابية.

2.9 أعطيت معلومات للتساقطات السنوية لـ (Edinburgh) للسنوات 1948-1963 على التوالي كما مبيته ادناه. من تلك المعلومات:

(i) خزن المطر السنوي القصوي الذي ربما يتوقع في فترة 20 سنة وفترة 50 سنة.

(ii) عرف الأرجحية لقهوة 20 سنة التي متساوي او ستزيد في 9 سنوات من 1963.

السنة	التساقط (mm)	السنة	التساقط (mm)
1948	924	1956	716
1949	711	1957	652
1950	734	1958	750
1951	787	1959	458
1952	620	1960	619
1953	600	1961	642
1954	893	1962	656
1955	459	1963	768

3.9 اشرح الطرق المستعملة اعتيادياً لرسم تكرار تصريف فيضان في الأنهر. أذكر جميع الخطوات المنفصلة التي يجب أن تعمل للتكهن، لنهر معين تصريف فيضان مع احتمال حدوث 0.005 في كل سنة. افرض 50 سنة قراءات مجدولة وعدد من القراءات الجيدة لقياسات الفيضان مع ملاحظات للاتجاهات في نفس الوقت.

4.9 بين الجدول أدناه قيم أكبر تسجيلات الفيضان لنهر ومرتبة بشكل تنازلي لمساحة  $12,560 \text{ km}^2$ .

إن معدل الفيضانات السنوي هو  $1502 \text{ m}^3/\text{s}$  والانحراف المعياري للمتواليات السنوي هو  $467 \text{ m}^3/\text{s}$ .

أحسب فترات الرجوع واحتمالات لكل من المتواليات الجزئية والسنوية. أرسم معلومات المتواليات الجزئية على ورق نصف - لوغاريتمي والمتواليات

التاريخ	$\text{m}^3/\text{s}$	التاريخ	$\text{m}^3/\text{s}$
1948 29 May	2804	1918 10 June	1495
1948 22 May	2450	1929 24 May	1492
1933 10 June	2305	1943 29 May	1478
1928 26 May	2042	1922 26 May	1476
1932 14 May	2042	1919 23 May	1473
1933 4 June	2016	1936 10 April	1433
1917 17 June	1997	1936 5 May	1410
1947 8 May	1980	1923 26 May	1405
1917 30 May	1974	1927 28 April	1314
1921 20 May	1974	1939 4 May	1314
1927 8 June	1943	1934 25 April	1300
1928 9 May	1861	1945 6 May	1257
1927 17 May	1818	1935 24 May	1246
1917 15 May	1801	1920 18 May	1235
1938 19 April	1796	1914 18 May	1195
1936 15 May	1790	1931 7 May	1155
1922 6 June	1767	1911 13 June	1119
1932 21 May	1762	1940 12 May	1051
1912 20 May	1753	1942 26 May	1051
1938 28 May	1722	1946 6 May	1037
1922 19 May	1716	1926 19 April	1017
1925 20 May	1694	1937 19 May	971
1924 13 May	1668	1944 16 May	969
1917 9 June	1609	1930 25 April	878
1916 19 June	1586	1941 13 May	818
1912 21 May	1563	1915 19 May	799
1918 5 May	1495		

السوية على ورق لوغاريتمي اعتيادي وورق احتمال (Gumbel). خمن من كل منها التصريف لقيضان مع احتمال مرة في كل 200 سنة.

5.9 يبين الجدول أدناه المطر السنوي بـ (mm) لـ Woodhead Reservoir للفترة 1921-1960.

المعدل والانحراف المعياري لفترة هما 1262.13mm و 179.83mm على التوالي.

رتب المعلومات بشكل تسلسلي. أحسب فترات الرجوع والاحتمال. ارسم المعلومات على ورق احتمالات.

(أ) ما هو المطر السنوي لـ 50 سنة و 100 سنة؟ كيف تقارن تلك بالمستخرجة من نظرية (Gumbel)؟ ما هي الايضاحات التي تحتاج ان تعمل إذا استعملت النتائج الأخيرة؟

(ب) ما هو الاحتمال بأن مطر 20 سنة سيزداد في فترة 10، 20 و 40 سنة؟

(ج) صمم شبكة ماء لاستعمال فترة 50 سنة. ومن المص ان تتحمل مطراً عرضياً لـ 1750mm في السنة. ما هو الاحتمال بأن هذا الكمية ربما تحدث خلال عمر المشروع؟

السنة	المطر (mm)	السنة	المطر (mm)	السنة	المطر (mm)	السنة	المطر (mm)
1921	1129.79	1931	1538.99	1941	1188.47	1951	1407.92
1922	1428.75	1932	1198.88	1942	1101.85	1952	1241.30
1923	1665.48	1933	969.26	1943	1165.10	1953	1098.8
1924	1161.29	1934	1152.65	1944	1498.60	1954	1603.50
1925	1137.41	1935	1387.35	1945	1085.60	1955	926.08
1926	1219.71	1936	1346.96	1946	1406.91	1956	1435.88
1927	1383.79	1937	1040.89	1947	1042.42	1957	1315.47
1928	1308.86	1938	1292.35	1948	1143.76	1958	1370.99
1929	1221.99	1939	1268.73	1949	1120.39	1959	1765.35
1930	1499.36	1940	1175.26	1950	1324.61	1960	1549.76



## المراجع والمصادر

### الفصل 2

1. MAIDENS, A. L.: New Meteorological Office rain-gauges, *The Meteorological Magazine*, Vol. 94, No. 1114, p. 142, May 1965.
2. GOODISON, C. E. and BIRD, L. G.: Telephone interrogation of rain-gauges, *Ibid.*, p. 144.
3. GREEN, M. J.: Effects of exposure on the catch of rain gauges, *T.P. 67 Wat. Res. Assoc.*, July 1969.
4. BLEASDALE, A.: Rain gauge networks development and design with special reference to the United Kingdom, *IASH Symposium on Design of Hydrological Networks*, Quebec, 1965.
5. BILHAM, E. G.: *The Classification of Heavy Falls of Rain in Short Periods*, H.M.S.O., London, 1962 (republished).
6. A guide for engineers to the design of storm-sewer systems. *Road Res. Lab., Road Note 35*, H.M.S.O., 1963.
7. HOLLAND, D. J.: Rain intensity frequency relationships in Britain, *British Rainfall 1961*, H.M.S.O., 1967.
8. YARNALL, D. L.: Rainfall intensity-frequency data, *U.S. Dept. Agric., Misc. pub. 204*, Washington D.C., 1935.
9. LINSLEY, R. K. and KOHLER, M. A.: Variations in storm rainfall over small areas, *Trans. Am. Geophys. Union*, Vol. 32, p. 245, April 1951.
10. HOLLAND, D. J.: The Cardington rainfall experiment, *The Meteorological Magazine*, Vol. 96, No. 1140, pp. 193-202, July 1967.
11. YOUNG, C. P.: Estimated rainfall for drainage calculations, LR 595, Road Res. Lab., H.M.S.O., 1973.
12. THIESSEN, A. H.: Precipitation for large areas, *Monthly Weather Review*, Vol. 39, pp. 1082, July 1911.

### مصادر إضافية

Standards for methods and records of hydrologic measurements, *Flood Control Series no. 6*, United Nations 1954.

LANGBEIN, W. B.: Hydrologic data networks and methods of extrapolating or extending available hydrologic data, *Flood Control Series No. 15*, United Nations 1960.  
 Guide to Hydrometeorological Practices, *U.N. World Met. Org.*, No. 168, T.P. 82, Geneva 1965.

### الفصل 3

13. PENMAN, H. L.: Natural evaporation from open water, bare soil and grass, *Proc. Roy. Soc. (London)*, A vol. 193, p. 120, April 1948.
14. THORNTON, C. W.: An approach towards a rational classification of climate, *Geographical Review*, Vol. 38, p. 55, (1948).
15. British Rainfall 1939 (and subsequent years), H.M.S.O., London.
16. LAW, F.: The aims of the catchment studies at Stocks Reservoir, Slaidburn, Yorkshire (unpublished comm. to Pennines Hydrological Group, Inst. Civ. Eng., September 1970).
17. HOUK, I. E.: *Irrigation Engineering*, Vol. 1, Wiley, New York, 1951.
18. OLIVIER, H.: *Irrigation and climate*, Arnold, London 1961.
19. THORNTON, C. W.: The moisture factor in climate, *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.*, Vol. 27, No. 1, p. 41, Feb. 1946.
20. BLANEY, H. F. and CRIDDLE, W. D.: Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data, *Div. Irr. and Wat. Conserv., S.C.S. U.S. Dept. Agric.*, SCS-TP-96 Washington D.C., 1950.
21. BLANEY, H. F.: Definitions, methods and research data, A symposium on the consumptive use of water, *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.*, Vol. 117, p. 949, (1952).
22. HARRIS, F. S.: The duty of water in Cache Valley, Utah, *Utah Agr. Exp. Sta. Bull.*, 173, 1920.
23. FORTIER, SAMUEL: Irrigation requirements of the arid and semi-arid lands of the Missouri and Arkansas River basins, *U.S. Dept. Agr. Tech. Bull.* 26, 1928.

### مصادر إضافية

- HORSFALL, R. A.: Planning irrigation projects, *J. Inst. Engrs. Aust.*, 22, No. 6, June 1950.
- WHITE, W. N.: A method of estimating ground water supplies based on discharge by plants and evaporation from soil. Results of investigations in Escalante Valley, Utah, *U.S. Geological Survey Water Supply*, Paper 639-A, 1932.
- HILL, R. A.: Operation and maintenance of irrigation systems, Paper 2980, *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.*, 117, p. 77, 1952.
- CRIDDLE, W. D.: Consumptive use of water and irrigation requirements, *J. Soil Wat. Conserv.*, 1953.
- CRIDDLE, W. D.: Methods of computing consumptive use of water, Paper 1507, *Proc. Amer. Soc. Civ. Eng.*, 84, Jan. 1958.
- ROHWER, CARL: Evaporation from different types of pans, *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.*, Vol. 99, p. 673, 1934.



- HICKOX, G. H.: Evaporation from a free water surface, *Trans. Amer. Soc. Civ. Eng.*, Vol. 111, Paper 2266, 1946, and discussion by C. Rehner, LOWRY, R. and JOHNSON, A. R.: Consumptive use of water for agriculture, *Trans. Amer. Soc. Civ. Engrs.*, Vol. 107, paper 2158, 1942, and discussion by Ruk, R. E., Foster, E. E., Blancy, H. F. and Davenport, R. W. FORTIER, S. and YOUNG, A. A.: Various articles in *Bull. U.S. Dep. Agric.* Nos. 1340 (1925), 185 (1930), 200 (1930), 379 (1933).  
PENMAN, H. L.: Estimating evaporation, *Trans. Amer. Geophys. Union*, Vol. 31, p. 43, Feb. 1956.

#### المصدر 4

24. NASSIF, S. and WILSON, E. M.: The influence of slope and rain intensity on runoff and infiltration (to be published).
25. HORTON, R. E.: The role of infiltration in the hydrologic cycle, *Trans. Am. Geophys. Union*, Vol. 14, pp. 443-460, 1933.
26. BOUCHARDEAU, A. and RODIER, J.: Nouvelle méthode de détermination de la capacité d'absorption en terrains perméables, *La Houille Blanche*, No. A, pp. 531-526, July/Aug. 1960.
27. SOR, K. and BERTRAND, A. R.: Effects of rainfall energy on the permeability of soils, *Proc. Am. Soc. Soil Sci.*, Vol. 26, No. 3, 1962.
28. HORTON, R. E.: Determination of infiltration capacity for large drainage basins, *Trans. Am. Geophys. Union*, Vol. 18, p. 371, 1937.
29. SHERMAN, L. K.: Comparison of F-curves derived by the methods of Sharp and Holtan and of Sherman and Mayer, *Trans. Am. Geophys. Union*, Vol. 24 (2), p. 465, 1943.
30. RUTLER, S. S.: *Engineering Hydrology*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1957.
31. LINSLEY, R. K., KOHLER, M. A. and PAULHUS, J. L. H.: *Hydrology for Engineers*, (p. 162), McGraw-Hill, New York, 1958.
32. Estimated Soil Moisture deficit over Gt. Britain: *Explanatory Notes Meteorological Office, Bracknell* (issued twice monthly).
33. PENMAN, H. L.: The dependence of transpiration on weather and soil conditions, *Journal of Soil Science*, Vol. 1, p. 74, 1949.
34. GRINDLEY, J.: Estimation of soil moisture deficits, *Meteorological Magazine*, Vol. 96, p. 97, 1967.

#### مصادر إضافية

- HEIL, P.: Neutron probe practice, *Institute of Hydrology Report No. 15*, Wallingford, U.K.  
HORTON, R. E.: Analyses of runoff-plot experiments with varying infiltration capacity, *Trans. Amer. Geophys. Union*, Pt. IV, p. 693, 1939.  
WILLIAMS, H. G.: Methods for the measurements of infiltration, *Trans. Amer. Geophys. Union*, Pt. III, p. 678, 1941.

## الفصل 5

- WENZEL, I. K.: Methods for determining permeability of water bearing materials, *U.S. Geol. Surv. Water Supply*, Paper 887, 1942.
- KIRKHAM, DON: Measurement of the hydraulic conductivity of soil in place, Symposium on Permeability of Soils, *Am. Soc. Testing Materials*, special Tech. Publ. 163, p. 80, 1955.
- CHILDS, E. C. and COLLIS-GEORGE, N.: The permeability of porous materials, *Proc. Roy. Soc.*, A201: p. 392, 1950.
- ARONOVICI, V. S.: The mechanical analysis as an index of subsoil permeability, *Proc. Am. Soc. Soil Sci.*, Vol. 11. p. 137, 1947.
- TODD, DAVID K.: *Ground Water Hydrology*, John Wiley, New York, 1959.
- HUISMAN, L.: *Groundwater Recovery*, Macmillan, London, 1972.
- VERRUIJT, A.: *Theory of Groundwater Flow*, Macmillan, London, 1970.
- CEDEGREEN, H. R.: *Seepage, Drainage and Flow Nets*, John Wiley, New York, 1967.

## الفصل 6

35. HOSEGOOD, P. H. and BRIDLE, M. K.: A feasibility study and development programme for continuous dilution gauging, Institute of Hydrology, *Report No. 6*, Wallingford, U.K.
36. ISO/R. 55, 1966, Liquid flow measurement in open channels; dilution methods for measurement of steady flow, Part 1, constant rate injection.
37. CORBETT, DON M. and others, Stream-Gaging Procedure, *Water Supply Paper 888*, *U.S. Geol. Survey*, Washington D.C., 1943.
38. BOYER, M. C.: Determining Discharge at Gaging Stations affected by variable slope, *Civil Eng.*, Vol. 9, p. 556, 1939.
39. MITCHELL, W. D.: Stage-Fall-Discharge Relations for Steady flow in prismatic channels, *U.S. Geol. Survey*, Water Supply Paper 1164, Washington D.C., 1954.
40. STEVENS, J. C.: A method of estimating stream discharge from a limited number of gagings, *Eng. News*, July 18, 1907.
41. KOELZER, V. A.: *Reservoir Hydraulics*, Sect. 3, Handbook of Applied Hydraulics, ed. by Davis and Sorenson, 3rd Edition, McGraw-Hill, New York, 1969.
42. JENNINGS, A. H.: World's greatest observed point rainfalls, *Monthly Weather Review*, Vol. 78, p. 4, Jan. 1950.

## مصادر اضافية

- B.S. 3680, Part 3, 1964; Part 4, 1965.
- Logarithmic plotting of stage-discharge observations, Tech. Note 3., *Water Resources Board*, Reading, 1966.
- HORTON, R. E.: Erosional development of streams and their drainage basins, *Bull. Geol. Soc. Am.*, Vol. 56, p. 275, March 1945.
- STRAHLER, Statistical analysis of geomorphic research, *Journ. of Geol.*, Vol. 62, No. 1, 1964.

- ACKERS, P. and HARRISON, A. J. M.: Critical depth flumes for flow measurement in open channels, *Hyd. Res. Paper No. 5*, London, H.M.S.O., 1963.
- PARSHALL, R. L.: Measuring water in irrigation channels with Parshall flumes and small weirs, *U.S. Dept. Agric. Circ. 843*, 1950.
- ACKERS, P.: Flow measurement by weirs and flumes, *Int. Conf. on Mod. Dev. in Flow Measurement*, Harwell, 1971, Paper No. 3.
- WHITE, W. R.: Flat-vee weirs in alluvial channels, *Proc. A.S.C.E.*, 97 HY3, pp. 395-408, March 1971.
- WHITE, W. R.: The performance of two dimensional and flat-V triangular profile weirs, *Proc. I.C.E.*, Supplement (ii), pp. 21-48, 1971.
- BURGESS, J. S. and WHITE, W. R.: Triangular profile (Crump) weir: two dimensional study of discharge characteristics, Rpt. No. INT 52, H.R.S. Wallingford, 1952.
- HARRISON, A. J. M. and OWEN, M. W.: A new type of structure for flow measurement in steep streams, *Proc. I.C.E.*, 36, pp. 273-296, 1967.
- SMITH, C. D.: Open channel water measurement with the broad-crested weir, *Int. Comm. on Irrig. and Drainage Bull.*, 1958, pp. 46-51.

## الفصل 7

43. SHERMAN, L. K.: Stream flow from rainfall by the unitgraph method, *Eng. News Record*, Vol. 108, p. 501, 1932.
44. BERNARD, M.: An approach to determinate stream flow, *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.*, Vol. 100, p. 347, 1935.
45. LINSLEY, R. K., KOHLER, M. A. and PAULHUS, J. L. H., *Applied Hydrology*, pp. 448-49, McGraw-Hill, New York, 1949.
46. COLLINS, W. T.: Runoff distribution graphs from precipitation occurring in more than one time unit, *Civil Engineering*, Vol. 9, No. 9, p. 559, Sept. 1939.
47. SNYDER, F. F.: Synthetic unitgraphs, *Trans. Am. Geophys. Union*, 19th Ann. meeting 1938, Pt. 2, p. 447.
48. HURSH, C. R.: Discussion on Report of the committee on absorption and transpiration, *Trans. Am. Geophys. Union*, 17th Ann. meeting, 1936, p. 296.
49. SNYDER, F. F.: Discussion on ref. 47.
50. LINSLEY, R. K.: Application of the synthetic unitgraph in the western mountain States, *Trans. Am. Geophys. Union*, 24th Ann. Meeting, 1943, Pt. 2, p. 580.
51. TAYLOR, A. B. and SCHWARZ, H. E.: Unit hydrograph lag and peak flow related to basin characteristics, *Trans. Am. Geophys. Union*, Vol. 33, p. 235, 1952.

## مصادر إضافية

- BARNES, B. S.: Consistency in unitgraphs, *Proc. Am. Soc. Civ. Eng.*, 85, HY6, p. 39, Aug 1959.

- MORRIS, W. V.: Conversion of storm rainfall to runoff, *Proc. Symposium No. 1, Spillway Design Floods*, N.R.C., Ottawa, p. 172, 1961.
- MORGAN, P. E. and JOHNSON, S. M.: Analysis of synthetic unitgraph methods, *Proc. Amer. Soc. Civ. Eng.*, 88 HY5, p. 199, Sept. 1962.
- BUTL, J. A.: Unitgraphs for non uniform rainfall distribution, *Proc. Am. Soc. Civ. Eng.*, 94, HY1, p. 235, Jan. 1968.

## الفصل 8

52. MCCARTHY, G. T.: The unit hydrograph and flood routing, unpublished paper presented at the Conference of the North Atlantic Division, Corps of Engineers, U.S. Army, New London, Conn. June 24, 1938. Printed by U.S. Engr. Office, Providence R.I.
53. CARTER, R. W. and GODFREY, R. G.: Storage and Flood Routing, *U.S. Geol. Survey Water-Supply*, Paper 1543-B, p. 93, (1960).
54. WILSON, W. T.: A graphical flood routing method, *Trans. Am. Geophys. Union*, Vol. 21, part 3, p. 893, 1941.
55. KOHLER, M. A.: Mechanical analogs aid graphical flood routing, *J. Hydraulics Div.*, ASCE 84, April 1958.
56. LAWLER, E. A.: Flood routing, Sec. 25-II, *Handbook of Applied Hydrology*, ed. Ven Te Chow, McGraw-Hill, New York, 1964.
57. CLARK, C. O.: Storage and the unit hydrograph, *Trans. Amer. Soc. Civ. Engr.*, Vol. 110, p. 1419, (1945).
58. O'KELLY, J. J.: The employment of unit hydrographs to determine the flows of Irish arterial drainage channels, *Proc. Instn. Civ. Engrs.*, Pt. III, Vol. 4, p. 365, (1955).
59. NASH, J. E.: Determining runoff from rainfall, *Proc. Instn. Civ. Engrs.*, Vol. 10, p. 163, (1958).
60. NASH, J. E.: Systematic determination of unit hydrograph parameters, *Journ. Geophys. Res.*, Vol. 64, p. 111, (1959).
61. NASH, J. E.: A unit hydrograph study, with particular reference to British catchments, *Proc. Instn. Civ. Engrs.*, Vol. 17, p. 249, (1960).
62. VEN TE CHOW, *Handbook of Applied Hydrology*, Sect. 14, McGraw Hill, New York, (1964).

## الفصل 9

63. MORGAN, H. D.: Estimation of design floods in Scotland and Wales, Paper No. 3, Symposium on River Flood Hydrology, *Instn. Civ. Engrs.*, London, 1966.
64. *Flow in California streams*, Calif. Dept. Public Works, Bull. 5, 1923.
65. HAZEN, A.: *Flood Flow*, Wiley, New York, 1930.
66. HAZEN, A.: Storage to be provided in impounding reservoirs for municipal water supply, *Trans. A.S.C.E.*, Vol. 77, p. 1539, 1914.
67. WHIPPLE, G. C.: The element of chance in sanitation, *J. Franklin Inst.*, Vol. 182, p. 37, et seq, 1916.

68. GUMBEL, E. J.: On the plotting of flood discharges, *Trans. Am. Geophys. Union*, Vol. 24, Pt. 2, p. 699, 1943.
69. GUMBEL, E. J.: Statistical theory of extreme values and some practical applications, *Natl. Bur. Standards (U.S.) Appl. Math. Ser.*, 33, Feb. 1954.
70. POWELL, R. W.: A simple method of estimating flood frequency, *Civil Eng.*, Vol. 13, p. 105, 1943.
71. *Ibid.*, discussion by E. J. Gumbel, p. 438.
72. VEN TE CHOW and YEVJEVICH, V. M.: *Statistical and Probability Applied Hydrology*, ed. Ven Te Chow, McGraw-Hill, New York, 1964.
73. DALRYMPLE, TATE: Flood Frequency Analysis, *U.S. Geol. Water Supply*, Paper 1543-A, (1960).
74. PAULHUS, J. L. H. and GILMAN, C. S.: Evaluation of probable maximum precipitation, *Trans. Am. Geophys. Union*, 34, p. 701, 1953.
75. Generalised estimates of probable maximum precipitation over the U.S. east of the 105th meridian, Hydrometeorological Report No. 23, *U.S. Weather Bureau*, Washington, 1947.
76. Generalised estimates of probable maximum precipitation of the United States west of the 105th meridian for areas to 400 square miles and durations to 24 hours. Tech. Paper 38, *U.S. Weather Bureau*, Washington, 1960.
77. Manual for depth duration area analysis of storm precipitation, *U.S. Weather Bureau Co-operative Studies Tech. Paper*, No. 1, Washington, 1946.
78. HERSHFIELD, D. M.: Estimating the probable maximum precipitation, *Proc. Am. Soc. Civ. Eng.*, 87, p. 99, September 1961.
79. *Flood Study Report: Institute of Hydrology*, 1974 (unpublished at time of going to press).
80. BLEASDALE, A.: The distribution of exceptionally heavy daily falls of rain in the United Kingdom, *Journ. Inst. Wat. Eng.*, Vol. 17, p. 45, Feb. 1963.
81. WIESNER, C. J.: Analysis of Australian storms for depth, duration, area data, *Rain Seminar, Commonwealth Bureau of Meteorology*, Melbourne, 1960.
82. WOLF, P. O.: Comparison of methods of flood estimation, *Symposium on River Flood Hydrology, Instn. Civ. Engrs.*, London, 1966 and discussion by T. O'Donnell.
83. PETERSON, K. R.: A precipitable water nomogram, *Bull. Amer. Met. Soc.*, 42, p. 199, 1961.
84. SOLOT, S.: Computation of depth of precipitable water in a column of air, *Mon. Weath. Rev.*, 67, p. 100, 1939.
85. BENNETT, G. M. and MANSELL-MOULLEN, M.: The estimated probable maximum storm and flood on the Jhelum River—a tributary of the Indus, Paper No. 9 *Symposium on River Flood Hydrology, Instn. of Civ. Engrs.*, London, 1966.
86. *Handbook of Meteorology*, ed. by Berry, Bollay and Beers, p. 1024. McGraw-Hill, New York, 1949.

87. PAULHUS, J. L. H.: Indian ocean and Taiwan rainfalls set new records, *Mon. Weather Rev.*, 93, p. 331, May 1965.
88. BLEASDALE, A.: Private communication to the author, *Met. Office, Bracknell*, May 1968.
89. BROOKS, C. E. P. and CARRUTHERS, N.: *Handbook of Statistical methods in meteorology*, H.M.S.O., p. 330, London, 1953.
90. COCHRANE, N. J.: Lake Nyasa and the River Shire, *Proc. I.C.E.*, Vol. 8, p. 363, 1957.
91. COCHRANE, N. J.: Possible non-random aspects of the availability of water for crops, Paper No. 3, *Conf. Civ. Eng. Problems Overseas Inst. C.E.*, London, June 1964.

#### مصادر إضافية

- LANGBEIN, W. B.: Annual floods and the partial duration flood series, *Trans. Am. Geophys. Union*, Vol. 30, p. 879, Dec. 1949.
- WIESNER, C. J.: Hydrometeorology and river flood estimation, *Proc. Instn. Civ. Engrs.*, Vol. 27, p. 153, 1964.
- Symposium on Hydrology of Spillway Design by the Task Force on Spillway Design Floods of the Committee on Hydrology, *Proc. Am. Soc. Civ. Eng.*, Vol. 90, HY3, May 1964.
- ALEXANDER, G. N.: Some aspects of time series in hydrology, *J. Instn. Engrs. Australia*, Vol. 26, pp. 188-198, 1954.
- ANDERSON, R. L.: Distribution of the serial correlation coefficient, *Ann. Math. Stat.*, Vol. 13, pp. 1-13, 1941.
- BEARD, L. R.: Simulation of daily streamflow, *Proc. Internat. Hydrol. Symposium*, Fort Collins, Colorado, 6-8 Sept. 1967, Vol. 1, pp. 624-632.
- FIERING, M. B.: *Streamflow Synthesis*, Macmillan, London, 1967.
- HANNAN, E. J.: *Time Series Analysis*, Methuen, London, 1960.
- KISIEL, C. C.: Time series analysis of hydrologic data, in *Advances in Hydrosience*, Vol. 5, pp. 1-119, ed. Ven Te Chow, Academic Press, New York, 1969.
- MATALAS, N. C.: Time series analysis, *Water Resources Res.*, Vol. 3, pp. 817-29, 1967.
- MATALAS, N. C.: Mathematical assessment of synthetic hydrology, *Water Resources Res.*, Vol. 3, pp. 937-45, 1967.
- MORAN, P. A. P.: *An Introduction to Probability Theory*, Clarendon Press, Oxford, 1968.
- O'DONNELL, T.: Computer evaluation of catchment behaviour and parameters significant in flood hydrology, *Symp. on River Flood Hydrology*, Inst. Civ. Eng., 1965.
- QUIMPO, R. G.: Stochastic analysis of daily river flows, *Proc. Am. Soc. Civ. Engrs, J. Hydraul. Div.*, Vol. 94, HY1, pp. 43-57, 1968.
- YEVJEVICH, V. M. and JENG, R. I.: Properties of non-homogeneous hydrologic series, Colorado State University, Hydrology Paper No. 32, 1969.

## معجم المصطلحات

### A

Absolute	مطلق
Absolute Pressure	الضغط المطلق
Absolute Viscosity	اللزوجة المطلقة
Acceleration	تسجيل
Accumulation	تجمع
Adhesion	تلاصق
Analysis	تحليل
Anemometer	مقياس الريح أو الرياح
Apparatus	جهاز
Approach, Velocity of	سرعة الاقتراب
Approximate	تقريبي
Aquifer	حشرج
Aquifer, Artesian	حشرج أرتوازي
Aquifer, Confined	حشرج محصور
Area	مساحة
Area, Catcment	مساحة الجماية
Atid	قاحل
Artesian	أرتوازي

Artesian Well	بئر أرتوازي
Atmosphere	الجو
Atmospheric Pressure	الضغط الجوي
Atmospheric Water	ماء الجو

## B

Bank	ضفاف
Bank Storage	خزن الضفاف
Barrier	حاجز
Basin	حوض
Basin, Drainage	جاية
Basin, River	جاية
Bed	قاع
Bed load	حمل القاع
Bed Material	مادة القاع
Boundary	التخم
Boundary Condition	شرط المتاخمة
Boundary Layer	الطبقة المتخمة

## C

Calibration	معايرة
Canal	قناة
Canal, Irrigation	قناة ري
Canal, Lateral	قناة فرعية
Canal, Lined	قناة مبطن
Canal, Main	قناة رئيسية



Canal, Navigation	قناة ملاحية
Canal System	شبكة قنوات
Capacity	سعة
Capacity, Field	السعة الحقلية
Capacity, Field Moisture	سعة الرطوبة الحقلية
Capacity, Reservoir	سعة الخزان
Capacity, Storage	سعة الخزن
Capillarity	الخاصية الشعرية
Capillary Rise	التصاعد الشعري
Capillary Water	ماء شعري
Capillary Zone	منطقة الماء الشعري
Catch Basin	جاية
Catchment Area	جاية
Cavitation	تجويف
Center	مركز
Channel	قناة
Clay	طين
Climate	مناخ
Climatology	علم المناخ
Cloud	غيم
Coefficient	معامل
Coefficient, Discharge	معامل التصريف
Coefficient, Drainage	معامل البزل
Coefficient, Friction	معامل الاحتكاك
Coefficient, Permeability	معامل النفاذية
Coefficient, Runoff	معامل السيح
Coefficient, Velocity	معامل السرعة
Concentration	تركيز
Consumptive Use	المقتن المائي

Content, Moisture	محتوى الرطوبة
Contour	كفاف
Contour Line	خط الكفاف، خط كنتوري
Cross Section	مقطع عرضي
Curve	منحنى
Curve, Discharge	منحنى التصريف
Curve, Duration	منحنى الاستدامة
Curve, Rating	منحنى التقدير
Cycle	دورة
Cycle, Hydrologic	الدورة الهيدرولوجية

## D

Dam	سد
Data	معلومات
Deficiency	التقص
Density	كثافة
Depth	عمق
Deviation	انحراف
Deviation, Standard	الانحراف المعياري
Dew	ندى
Dew Point	نقطة الندى
Dike	سدة
Dillution	تخفيف
Discharge	تصريف
Discharge, Peak	تصريف الذروة
Discharge Hydrograph	مخطط ماء التصريف
Drainage	بزل
Drainage Basin	جاية
Duration	استدامة

## E

Empirical Formul	صيغة تجريبية
Energy	طاقة
Energy Line	خط الطاقة
Energy, Kinetic	الطاقة الحركية
Energy, Potential	الطاقة الكامنة
Evaporation	تبخر
Evapo-Transpiration	التبخر - التثاير

## F

Flood	فيضان
Flood Routing	استيعاب الفيضان
Flow	جريان
Fluid	مائع
Frequency	تردد

## G

Grade	أنحدار
Gradient	أنحدار
Ground-Water	الماء الأرضي

## H

Head	شحنة
Head, Piezometric	الشحنة البيزومتري

Head, Potential	الشحنة الكامنة
Head, Velocity	شحنة السرعة
Homogeneous	متجانس
Humidity	رطوبة
Hydraulic	هيدروليكي
Hydrograph	الميدروغراف، مخطط الماء
Hydrograph, Unit	مخطط الماء القياسي
Hydrology	الميدروولوجيا



Impermeable	غير نافذ
Infiltration	ترشيح، رشح
Intensity	شدة
Interval	فاصل
Irrigation	ري
Isohyet	كفاف المطر أو خطوط المطر
Isotropic	موحد الخصائص
Isoval	كفاف السرعة أو خطوط السرعة



Mean	معدل
Mean, Weighted	المعدل الموزون
Median	وسيط
Meteorology	علم الجو أو المناخ
Model	نموذج
Model, Hydraulic	نموذج هيدروليكي
Moisture	رطوبة

# O

Orifice	فتحة
Orifice, Sharp-Edged	فتحة حادة الحافة
Orifice, Submerged	فتحة مغمورة

# P

Percolation	رشح
Percolation, Deep	رشح عميق
Period	مدة
Permeability	نفاذية
Pervious	مسامي
Phreatic Surface	مستوى الماء الأرضي
Porosity	مسامية
Precipitation	سقوط
Precipitation, Frontal	سقوط جبهوي
Precipitation, Orographic	سقوط التضاريس
Pressure	ضغط
Pressure, Absolute	الضغط المطلق
Pressure, Atmospheric	الضغط الجوي
Pressure, Hydrostatic	الضغط الهيدروستاتيكي
Pressure, Vapor	ضغط البخار

# R

Rain	المطر
Rainfall	سقوط المطر
Rating	تقدير

Reach	امتداد
Reservoir	خزان
Root Zone	منطقة الجذور
Routing	استيعاب
Routing, Flood	استيعاب الفيضان
Runoff	السيح
Runoff, Surface	السيح السطحي

## S

Screen	درية
Screen, Well	ملدرة البئر
Sediments	رواسب
Seepage	تسرب
Series	سلسلة
Slope	انحدار
Snow	ثلج
Soil	تربة
Spillway	مطفح
Steady	ثابت
Storage	خزن
Storm	عاصفة
Storm Runoff	سيح العاصفة
Stream	مجرى، جدول
Stream, Effluent	مجرى منبعث
Stream, Influent	مجرى مغذي
Stream, Perennial	مجرى دائم
Stream, Permanent	مجرى دائم
Streamline	خط انسياب

# T

Temperature

درجة الحرارة

Thermometer

محرار

# V

Viscosity

اللزوجة

# W

Weir

سد غاطس

Weir, Broad-Crested

سد غاطس عريض

Weir, Rectangular

سد غاطس مستطيل

Weir, Sharp-Crested

سد غاطس حاد الحافة

Weir, Submerged

سد غاطس مغمور

Weir, Trapezoidal

سد غاطس شبه منحرف

Weir, Triangular

سد غاطس مثلثي

Weir, V-Notch

سد غاطس على شكل (V)

Well

بئر

Wind

رياح





رقم الايداع في المكتبة الوطنية ببيضا ٨٤٦ لسنة ١٩٨٢

مطبعة جامعة البصرة





# **Engineering Hydrology**

**EM WILSON**

**1983**

